Mahillon, Victor Charles
Notes théoriques et pratiques sur la résonance des colonnes d'air dans les tuyaux de la factur instrumental

MUSIC - UNIVERSITY OF TORONTO
3 1761 04076 5083

ML
930
M34

NOTES THEORIQUES ET PRATIQUES

sur la résonance des colonnes d'air dans les tuyaux de la facture instrumentale

VICTOR-CHARLES MAHILLON

BEAULIEU-sur-MER
IMPRIMERIE MODERNE
—o 1921 o—

*Tous droits réservés
de traduction et reproduction pour tous pays*

Souvenir et témoignage de très profonde affection à ma bien chère petite-fille Marthe

Saint Jean Cap Ferrat 21 février 1923

Pierre Mahillon

NOTES -:- -:- -:-
THÉORIQUES
ET PRATIQUES

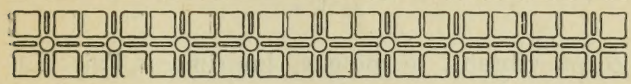
sur la résonance -:- -:- des colonnes d'air -:- dans les tuyaux de la facture instrumentale -:-

VICTOR-CHARLES MAHILLON

Août 1921 -:- -:- -:-
St.-Jean-Cap-Ferrat

LIBRARY
FEB 20 1974
UNIVERSITY OF TORONTO

ML
930
M34



NOTES THÉORIQUES ET PRATIQUES -:- -:- sur la résonance des colonnes d'air dans les tuyaux de la facture instrumentale [1] -:- -:-

1. Le son est une sensation produite sur nos organes auditifs par la vibration du milieu qui nous entoure, l'air.

Cette vibration est obtenue par l'intermédiaire d'un corps élastique, sorte de moteur mis préalablement en vibration lui-même.

A notre avis, seules, les vibrations de l'air sont sonores, celles du corps moteur sont silencieuses.

On reconnait trois qualités au son :

La *hauteur* ou degré d'acuité ; elle est due à la vitesse vibratoire ; plus la vitesse est grande, plus le son est aigu.

L'*intensité*, elle a pour cause l'amplitude de la vibration, plus elle est grande, plus le son est fort.

Le *timbre* ou couleur du son ; il est uniquement dû aux innombrables formes vibratoires que le

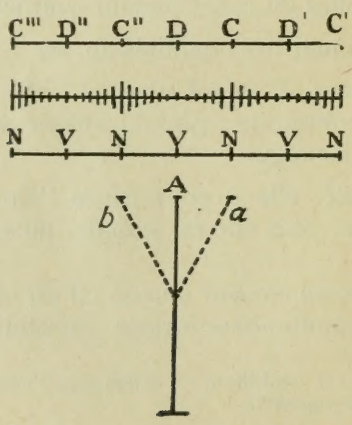
(1) Voir V.-C. Mahillon. — Eléments d'acoustique musicale et instrumentale.

corps vibrant, le moteur, imprime à l'air. La matière dont se compose le corps moteur n'a d'autre influence sur le timbre que celle qui peut naître de formes vibratoires aériennes différentes.

2. Les vibrations sont doubles ou simples : doubles, lorsqu'elles sont produites par un aller et un retour de la molécule vibrante ; simples, lorsqu'elles sont dues à un aller ou à un retour. En Belgique et en France on évalue la vitesse en vibrations simples.

3. Pour nous rendre compte des mouvements vibratoires et de l'effet qu'ils produisent à l'air libre, examinons ceux d'une tige droite, métallique A B, fixée en B par un moyen quelconque. Ecartons cette tige de sa ligne verticale de repos.

En vertu de son élasticité, elle se déplacera successivement de *a* vers *b*, puis de *b* vers *a* ou vice-versa, produisant ainsi une suite de vibrations simples.



Partant de A et arrivée en *a*, la tige n'a fait qu'une demi-vibration simple ; revenue en A, elle a fait une autre demi-vibration simple.

L'aller vers *a* et le retours vers A constituent ensemble une vibration simple ou, comme on la désigne parfois, une vibration complète.

Mais la tige par suite du mouvement qui lui a été imprimé vers *a*, dépasse, revenant sur elle-même, la ligne verticale A B ; elle se dirige vers *b* faisant ainsi *une* vibration simple complète, Arrivée en *b* la tige retourne vers *a* effectuant une autre vibration simple complète. Et ainsi de suite se produit une série de vibrations simples de *a* vers *b* et de *b* vers *a*.

Les vibrations doubles comprennent, nous l'avons dit, un aller *et* un retour de la molécule vibrante ; de *a* vers *b* avec retour de *b* vers *a* ou inversement.

4. La tige vibrante en se déplaçant de A vers *a* imprime une certaine pression à l'air environnant, produit une condensation en C. appelée demi-onde condensée, de D vers C, représentée sur la première des lignes horizontales tracées au-dessus de la ligne verticale A B.

En retournant vers A la tige produit sur l'air, l'effet contraire, une sorte d'aspiration de C vers D, c'est une demi-onde dilatée. Continuant son mouvement vibratoire vers *b*, la tige produit une autre demi-onde condensée vers C'' suivie d'une autre demi-onde dilatée vers D.

En vertu des lois de la propagation du son dans l'air libre, la première demi-onde condensée arrivée en C continue son mouvement vibratoire et forme la demi-onde condensée D' complétée par la demi-onde condensée D' C'.

Les ondes se propagent de la même façon de C'' à C''' et ainsi de suite jusqu'au repos final de la tige vibrante. A chacune des vibrations simples de la tige correspond une onde simple et la longueur de celle-ci formée d'une demi-onde dilatée et d'une demi-onde condensée donne la distance que parcourt le son pendant une vibration simple du corps vibrant.

Les vibrations de la tige sont isochrones, ont la même durée, quelle que soit l'amplitude du mouvement vibratoire, mais plus celui-ci est grand plus forte est l'intensité sonore.

Plus les vibrations sont lentes, plus elles sont courtes, plus le son est grave.

5. Les déplacements, les excursions de la tige, se font à des vitesses différentes; elles diminuent progressivement de A vers *b* ou vers *a* pour augmenter de même à leur retour de *b* vers A ou de *a* vers A. De ces mouvements mécaniques résultent des variations continuelles de vitesse et de densité de l'air sur toute la longueur des ondes. Aux points C,C',C'',C''' la vitesse est nulle mais l'air y subit des variations continuelles de pression et de densité ; ce sont les *nœuds de vibration* de l'onde. Les tranches d'air en mouvement s'éloignent et se rapprochent alternativement ; nous les

indiquons par les lettres N.

Aux points D, D' D'' les vitesses de l'air sont maxima, la pression et la densité minima, ce sont les *ventres de vibration* de l'onde, nous les indiquons par V.

6. Appliquons les données qui précèdent à l'étude des colonnes d'air, but principal de ce petit travail.

De nombreuses expériences ont déterminé la vitesse du son : elle est de 340 mètres en une seconde à la température moyenne de 15° cent. Il suffit donc pour fixer la longueur d'une onde simple de diviser 340 mètres par le nombre de vibrations simples du corps vibrant en une seconde.

La vibration de l'air dans un tuyau se produit de la même façon qu'à l'air libre et l'expérience a démontré que la longueur du tuyau ou mieux, celle de la colonne d'air qui y est enfermée, correspond à celle d'une onde simple, demi-onde condensée plus demi-onde dilatée — lorsque cette colonne d'air produit son intonation la plus grave.

Prenons un exemple :

Quelle est la longueur de l'onde simple ou d'un tuyau destiné à donner le *la* de 870 vibrations simples à la vitesse moyenne de 340 mètres par seconde ?

$\frac{340 \text{ m.}}{870 \text{ v. s.}} = 0 \text{ m. } 390$. Telle est la longueur du tuyau ou de sa colonne d'air.

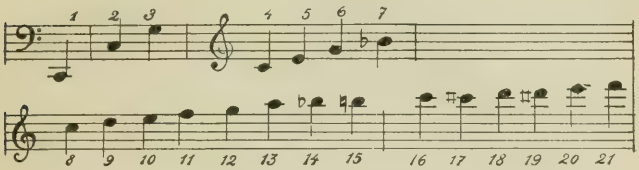
L'influence de la température, de très grande importance, est souvent négligée. Ainsi à 0° centigrade, la vitesse de son n'est plus que de 332 mètres et pour un son de 870 v. s., la longueur du tuyau n'est plus que de 0 m. 382. A 30° cent. la vitesse du son est de 350 mètres et la longueur du tuyau pour produire le même *la* est de 0 m. 402. Entonnés sous une même température, ces deux tuyaux diffèreraient de tout un demi-ton.

7. Les tuyaux de nos instruments de musique, dits à vent, sont gouvernés par deux lois bien distinctes : celle des tuyaux ouverts, celle des tuyaux fermés.

8. Les tuyaux ouverts sont ceux dont les deux extrémités communiquent avec l'air environnant. Leur longueur correspond à celle d'une onde simple. Lorsque le courant d'air moteur destiné à exciter le mouvement vibratoire de la colonne d'air est minima, le son le plus grave se produit, un ventre de vibration se forme à chacune des extrémités et un nœud de vibration au milieu de la longueur du tuyau. En augmentant progressivement le courant, la colonne d'air se divise en parties égales, en concamérations de plus en plus petites et de plus en plus nombreuses d'après la longueur du tuyau.

Les sons que l'on obtient par ces divisions sont appelées harmoniques; leur ensemble constitue l'*échelle harmonique*. Le son le plus grave est parfois désigné sous le nom de *fondamental*.

L'échelle harmonique des tuyaux ouverts est la suivante ; les chiffres indiquent les rapports vibratoires des sons entre eux ; ces rapports restent les mêmes quelle que soit l'intonation du son fondamental ou l'harmonique servant de point de départ.



9. On donne le nom de tuyaux fermés à ceux qui n'ont qu'une extrémité fermée, l'autre restant ouverte.

Lorsque le courant d'air moteur, le moindre pour produire le son fondamental, s'exerce contre l'extrémité ouverte, la demi-onde condensée y prend naissance, le ventre de vibration s'y maintient par suite du contact avec l'air environnant.

Mais l'onde condensée n'étant pas arrêtée au milieu du tuyau par la pression atmosphérique qu'elle y rencontre dans les tuyaux ouverts, continue sa marche et parvient à son maximum de densité, nœud de vibration, à la fermeture du tuyau contre laquelle elle se réfléchit. Elle revient alors sur elle-même en se dilatant progressivement pour atteindre son minimum de densité, son maximum de vitesse, à l'extrémité ouverte où elle revient en contact avec l'air environnant, ventre de vibration.

Il résulte de ce mouvement :

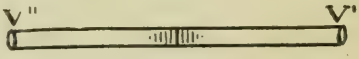
1° Une longueur double des deux demi-ondes, condensée et dilatée, et, par conséquent, un son à l'octave grave de celui que donnerait un tuyau ouvert de même longueur.

2° L'impossibilité pour la colonne d'air par suite de la présence inévitable d'un ventre de vibration à l'une de ses extrémités et d'un nœud à l'autre, de se partager autrement qu'en un nombre impair de concamérations et de ne donner par suite, que les sons de rang impair de l'échelle harmonique.

Les tracés qui suivent faciliteront la compréhension des deux lois différentes.

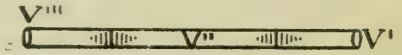
TUYAUX OUVERTS

Son fondamental :



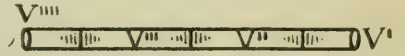
Une onde complète de V' à V''.

Harmonique 2 :



deux ondes complètes : de V' à V'' et de V'' à V'''.

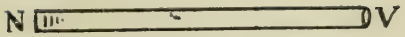
Harmonique 3 :



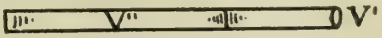
trois ondes complètes de : V' à V''; de V'' à V'''; de V''' à V''''.

et ainsi de suite.

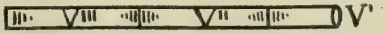
TUYAUX FERMÉS

Son fondamental : 

Une onde complète : de V à N avec retour de N à V.

Harmonique 3 : 

trois ondes complètes : de V' à V'' ; de V'' à N, avec retour de N à V'' ; de V'' à V'.

Harmonique 5 : 

Cinq ondes complètes : de V' à V'' ; de V'' à V''' ; de V''' à N avec retour de N à V''' ; de V''' à V'' ; de V'' à V' et ainsi de suite.

Les instruments dont nous avons à nous occuper sont désignés généralement sous le nom d'*instruments à vent,* ce sont véritablement des instruments à air. Il suffit, en effet, de *souffler* dans un tuyau pour que sa colonne d'air reste muette. Nous possédons deux moyens d'exciter la vibration de l'air dans les tuyaux : la bouche et l'anche, et, par suite, deux branches différentes : Les instruments à bouche et les instruments à anche.

10. *Première branche. — Instruments à bouche*

La bouche est une disposition donnée à l'une des ouvertures du tuyau pour transformer en

pulsations régulières, intermittentes, le souffle de l'exécutant ou un courant d'air en pression provenant d'un réservoir. Ces pulsations se communiquent de la bouche à la colonne d'air, mettent celui-i en vibration, et font naître le son. La bouche peut se présenter sous trois formes principales : biseautée, latérale, transversale ou orificiale.

Pour faciliter l'examen des instruments appartenant à la première branche, nous les classerons en sept sections :

A Tuyaux à bouche cylindriques, rectangulaires ou prismatiques, de longueur fixe, ouverts.

B Tuyaux à bouche cylindriques, rectangulaires ou prismatiques, de longueur fixe, fermés.

C Tuyaux à bouche coniques, de longueur fixe, fermés.

D Tuyaux à bouche tronconiques ou tronc-pyramidaux de longueur fixe, ouverts.

E Tuyaux à bouche cylindriques tronconiques ou tronc-pyramidaux, de longueur variable, ouverts.

F Tuyaux à bouche, tronconiques, de longueur fixe, fermés.

G Tuyaux à bouche de forme ovoïde.

11. *Première Section A. Tuyaux à bouche cylindriques, rectangulaires ou prismatiques de longueur fixe, ouverts.*

Ces tuyaux dont la bouche est généralement

biseautée, trouvent leur emploi dans la facture des grandes orgues. Leurs formes et proportions servent à produire les nombreux timbres qui distinguent les jeux du plus grand et plus majestueux de nos instruments.

Rappelons encore une fois que la matière dont les tuyaux sont faits n'a aucune influence sur la couleur du son (1). L'orgue n'utilise pas la propriété qu'ont ces colonnes d'air, de pouvoir sous l'action de pressions différentes, se diviser en un certain nombre de parties aliquotes pour la production de leurs harmoniques. Chaque tuyau n'est appelé le plus souvent qu'à donner un seul son, le fondamental ou son 1. Exceptionnellement cependant, pour varier le timbre, quelques tuyaux sont agencés de façon à donner le son 2, octave, ou le son 3, douzième. On les appelle *tuyaux octaviants, tuyaux quintoyants*. Cette dernière appellation est impropre car ce n'est pas la quinte du son fondamental que ces tuyaux donnent, c'est la douzième. Ce sont donc des *tuyaux douzièmants*, s'il est permis de se servir de ce néologisme. On parvient à ces modes de vibration exceptionnels en pratiquant une petite ouverture vers le milieu de la longueur des tuyaux octaviants et vers le tiers de leur longueur, à partir de la fermeture, des tuyaux douzièmants. Ces ouvertures provoquent la formation du ventre de vibration nécessaire au partage de la colonne d'air pour la production des harmoniques 2 ou 3.

---

(1) Il existe au Musée du Conservatoire de Musique de Bruxelles une trompette en bois (n° 572), dont le timbre est identique à celui d'une trompette en cuivre.

12. *Deuxième section B. — Tuyaux à bouche cylindriques, rectangulaires ou prismatiques, de longueur fixe, fermés.*

Nous avons exposé au § 9 la loi de vibration des tuyaux fermés. De plus amples détails seraient superflus. Ces tuyaux dont la bouche est généralement de forme biseautée, ont par suite de leur fermeture à l'extrémité opposée à la bouche, le son fondamentali à l'octave grave de celui que donne un tuyau ouvert de même longueur. Cette particuliarité est mise à profit pour établir les jeux de l'orgue appelés *bourdons*, d'un timbre particulier, très apprécié et à juste raison.

Les petits instruments portatifs n'utilisent que peu de tuyaux de cette section. On s'en sert cependant, mais avec la bouche de forme transversale pour la construction des flûtes de Pan (1) et on en trouve aussi l'emploi dans des sifflets rudimentaires de quelques peuplades africaines.

13. *Troisième section C. — Tuyaux à bouche coniques de longueur fixe, fermés.*

En pratique, ces tuyaux n'ont que peu d'importance, mais en théorie ils en présentent une très grande et méritent de fixer notre attention. En effet, si les tuyaux fermés de la section B. résonnent à l'octave grave d'un tuyau ouvert d'égale longueur, les tuyaux de la section C. quoique fermés au somment du cône, sont soumis à la loi de vibration des tuyaux ouverts et résonnent

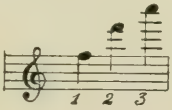
(1) Et du *Muscal* de Roumanie.

comme tels, à l'octave aiguë d'un tuyau fermé de longueur semblable.

Ainsi, quelle est la longueur d'un tuyau ouvert donnant le son fondamental de 690,5 5 v. s., 54e degré de l'échelle des sons (1).

La longueur de ce tuyau s'obtient (voir § 6) en divisant la vitesse moyenne du son par le nombre de v. s. à produire en une seconde, donc $\frac{340}{690,5} = 0^m,492$. Le tuyau fermé donnant le même *fa* ne mesure que $\frac{0^m,492}{2} = 0^m,246$.

D'après ce qui précède, le tuyau cônique fermé au sommet du cône de $0^m,246$ de longueur, doit donner la résonance harmonique,



et il en est ainsi.

14. Cette résonance exceptionnelle a été observée par quelques auteurs, mais n'a pas encore été

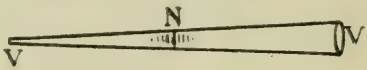
---

(1) Sans se servir des signes de notation, il est difficile d'indiquer exactement le rang qu'occupe un son sur l'échelle générale.

On s'est servi jusqu'à présent d'indices qui manquent de précision, parce qu'ils varient d'un pays à un autre. En présence de cette difficulté, nous avons eu l'idée de numéroter tous les degrés de l'échelle des sons, du plus grave au plus aigu. Cette nouveauté a été approuvée et adoptée

expliquée, pensons-nous. C'est cette lacune que nous allons essayer de combler.

En excitant la vibration de la colonne d'air par la bouche transversale en V, ventre de vibration,

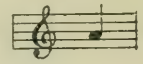


une demi-onde condensée se forme et se dirige vers le sommet du cône, la pointe du tuyau; mais les parois de celui-ci se resserrant de plus en plus, la condensation maximum ne dépasse pas la moitié de la longueur du tuyau, en N; elle y forme un nœud de vibration. Au delà de N, l'onde se dilate progressivement pour former à la pointe, la demi-onde dilatée avec le minimum de densité, celui de l'air contenu dans le tuyau avant sa mise en vibration. La colonne d'air se trouve donc dans les conditions voulues

pour produire le son fondamental, celui d'un tuyau ouvert.

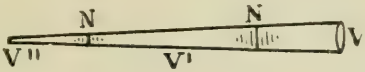
Il est facile de prouver la présence d'un ventre

---

par le *Congrès Musical de Paris,* dans sa séance du 16 juin 1900. Ainsi l'*ut* de la première octave, le plus grave, de 32 v. s. est indiqué par 1 ; l'*ut* de la deuxième octave de 64 v. s. par 13 ; celui de la 3e octave par 25 et ainsi de suite avec tous les degrés chromatiques intermédiaires jusqu'à la dixième octave, limite aiguë des sons *musicalement* perceptibles. Le *la*  servant généralement de *Tonarium,* de diapason, porte le n° 58.

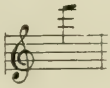
de vibration à la pointe du tuyau en y pratiquant une petite ouverture. Dans cet état, le tuyau conserve la résonance harmonique de *fa* susdit et la présence d'un ventre de vibration y est donc certaine.

En augmentant à la bouche V la pression du souffle moteur, la colonne d'air se divise de la façon suivante :

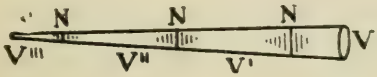


deux ondes simples, complètes, de V à V'; de V' à V'', et elle se trouve donc dans les conditions

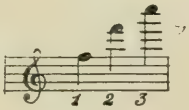
voulues pour la formation du 2e harmonique



En augmentant encore la pression propulsive, nous obtenons la division :



et la résonance harmonique :



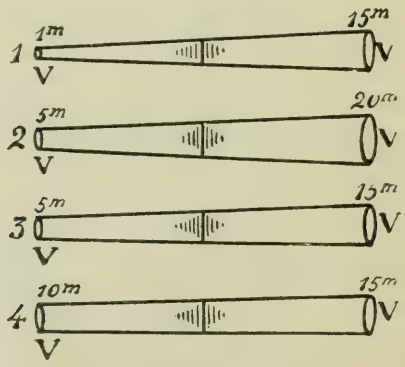
trois ondes simples, de V à V'; de V' à V''; de V'' à V'''.

Nous ne pensons pas que les colonnes d'air de la section C. aient trouvé une application parmi nos instruments usuels. Il serait cependant possible, nous paraît-il, de les utiliser.

15. *Quatrième section D. — Tuyaux à bouche tronconiques ou tronc-pyramidaux ,de longueur fixe, ouverts.*

Par suite de leur longueur invariable, ces colonnes d'air n'ont aucune importance dans le matériel orchestral ; ils ne trouvent leur emploi que dans la facture d'orgue, munis d'une bouche biseautée.

Analysons cependant au point de vue théorique très important, aussi, les quatre tuyaux suivants, de même longueur : $0^m,246$, mais de conicité différente ; le diamètre en millimètres est indiqué à chacune des extrémités.



Nous constatons que quel que soit l'orifice par

lequel la colonne d'air est ébranlée *transversalement*, toutes les quatre donnent la même fondamentale et la résonance harmonique des tuyaux ouverts.

16. *Cinquième section E. — Tuyaux à bouche cylindriques, tronconiques ou tronc-pyramidaux, de longueur variable, ouverts.*

Les tuyaux de cette section ont la même résonance que ceux de la section précédente. Ils s'en distinguent par les trous dont ils sont percés latéralement et que l'on recouvre tous par les doigts pour produire le son 1 fondamental. En relevant successivement les doigts on raccourcit progressivement la colonne d'air et on produit une suite de sons fondamentaux de plus en plus aigus avec la résonance des tuyaux ouverts. La distance des ouvertures latérales calculée à partir de la bouche, correspond à la longueur des ondes déterminées comme nous l'avons indiqué pour les tuyaux ouverts.

17. Les instruments de longueur variable aussi bien ceux à anche qu'à bouche, sont, pour employer les termes usités, *non transpositeurs* ou *transpositeurs*.

Ils sont non transpositeurs lorsque leurs signes de notation correspondent à l'effet réel, qu'ils in-

diquent, le degré exact d'acuité du son, le degré qu'il occupe sur l'échelle générale.

Les instruments sont transpositeurs lorsque le signe de notation ne correspond pas à l'effet réel.

De ces deux genres résultent trois doigtés différents :

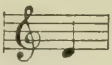
1° *Le doigté réel ;* celui des instruments construits dans la tonalité d'*ut ;* chaque signe de la notation correspond à l'effet réel ;

2° *Le doigté fictif ;* celui des instruments construits dans une autre tonalité que celle d'*ut* dont ils empruntent le doigté et dont, conséquemment, la notation ne représente pas l'intonation perçue par l'oreille ;

3° *Le doigté transpositeur ;* celui des instruments construits dans une autre tonalité que celle d'*ut* dont ils empruntent également le doigté mais dont la notation correspond aux intonations perçues par l'oreille.

Nos orchestres utilisent un grand nombre de tuyaux appartenant à la section E. Munis de la bouche biseautée ; nous avons l'intéressante et vieille famille des *flûtes douces* dont il nous est resté le flageolet. Munis de la bouche latérale, nous avons la famille des *flûtes traversières*. La bouche transversale nous donne le *nây* arabe.

18. *Le flageolet* est de nos jours un instru

ment de peu d'importance ; transpositeur, il est construit généralement en *sol* avec le doigté fictif dont l'effet réel est à la douzième aiguë de la note écrite 

Ce *la*, 70e degré de l'échelle des sons, extrême limite au grave, a pour longueur théorique 0m195.

19. Les *flûtes traversières* forment encore actuellement toute une famille dont les membres principaux sont les suivants :

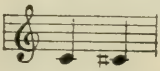
1. Petite flûte, dite en *mi b*, mais réellement en *ré b* ;

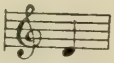
2. Petite flûte, dite en *ré*, mais réellement en *ut* ;

3. Flûte tierce, dite en *fa*, réellement en *mi b*.

4. Flûte en *ré*, réellement en *ut* ;

5. La même avec le système de clefs dit à *patte d'ut*, allongeant l'échelle de deux demi-tons



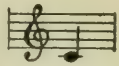
Il est d'usage, comme on le voit, d'indiquer la tonalité de ces flûtes un ton au-dessus de la tonalité réelle, à cause de l'intonation produite à l'oreille par la note écrite  limite ordinaire au grave de l'échelle

Les flûtes 2, 4, 5 sont non transpositrices avec le doigté réel. Il est à remarquer que la flûte 2 est à l'octave aiguë de la flûte 4. Celle-ci dont la limite grave, *ré*, 51e degré de l'échelle des sons, a pour longueur théorique 0m,585.

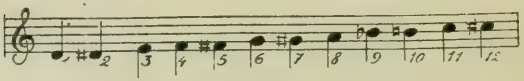
Les flûtes 1, 3 sont transpositrices avec le doigté fictif et l'effet réel est à la neuvième mineure aiguë de la note écrite pour le numéro 1, et à la tierce mineure aiguë de la note écrite pour le numéro 3.

On construit exceptionnellement une flûte en *ré b*, dite en *mi b* à l'octave grave du numéro 1 et aussi dans ces derniers temps, une flûte alto en *sol*, transpositrice, à la quarte grave du numéro 5.

Doigté fictif ;

la note écrite la plus grave  a pour longueur théorique le *sol*, 44e degré del'échelle, soit 0m,877.

L'échelle écrite du flageolet et des flûtes traversières est la suivante :



dont les degrés, tous sons fondamentaux, sont obtenus à l'aide de trous latéraux ouverts successivement par les doigts ou par des clefs. Pour

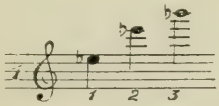
améliorer la justesse, on se sert parfois du doigté *fourchu*, qui consiste à boucher par le doigt le trou latéral, immédiatement au-dessous de celui qui fournit l'intonation ; on obtient ainsi un léger abaissement.

Les sons fondamentaux se reproduisent à l'octave aiguë, harmoniques 2, par une augmentation de la pression du souffle sur la bouche du tuyau et l'échelle se complète par une troisième octave obtenue à l'aide de doigtés plus ou moins compliqués, dont l'analyse sortirait du cadre de cette étude (1).

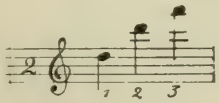
20. *Sixième section F. — Tuyaux à bouche tronconiques, de longueur fixe, fermés.*

Si nous mettons en vibration en excitant leur colonne d'air, transversalement, à l'orifice le plus grand, les tuyaux 1, 2, 3, 4 dont nous avons tracé les proportions au § 15, en ayant soin de fermer l'orifice opposé, nous obtenons les résonances harmoniques :

pour le n° 1

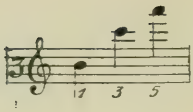


pour le n° 2

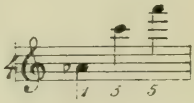


(1) Voir V.-C. Mahillon — Etude sur le doigté de la flûte Boehm.

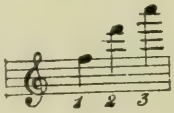
pour le n° 3



pour le n° 4



En comparant ces résonances avec celles du tuyau conique, fermé, de même longueur, de la section C

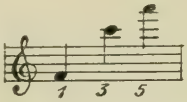


nous constatons que ces résonances baissent au fur et à mesure que le diamètre à la troncature grandit.

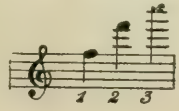
De nombreuses expériences, de multiples essais nous permettent de poser cette règle: la résonance harmonique des tuyaux tronconiques appartenant à la sixième section, reste celle des tuyaux ouverts aussi longtemps que le diamètre à la troncature est inférieur au quart du diamètre à l'extrémité opposée.

Nous supposons que l'abaissement du son que nous constatons dans la résonance des tuyaux 1, 2, est due à ce que la conicité devenant moindre, le premier nœud de vibration s'écarte de la bouche et que le partage de la colonne d'air se fait irrégulièrement en concamérations de plus en

plus grandes. Au fur et à mesure que la colonne d'air se rapproche de la forme cylindrique, que les rapports sus indiqués disparaissent, tels les tuyaux 3, 4, le son fondamental 1 continue à baisser progressivement et la résonance harmonique se rapproche de celle d'un tuyau fermé de même longueur $0^m,246$.



21. Il nous faut signaler ici, une petite expérience qui ne manque pas d'intérêt, attendu qu'elle nous paraît justifier l'explication que nous avons donnée § 13, des tuyaux tronconiques résonant, quoique fermés, en tuyaux ouverts.

Lorsqu'on excite la vibration des colonnes d'air des tuyaux 1, 2, 3, 4, § 20, en frappant la paume de la main contre la petite ouverture de la troncature, on obtient un son fondamental semblable à celui que l'on produit en insufflant le tuyau à l'orifice large, la troncature étant fermée. Il est donc certain que dans les deux cas un minimum de pression, un ventre de vibration existe à la troncature. En débouchant la troncature et excitant la vibration de la colonne d'air par l'orifice large, nous sommes évidemment en possession d'un tuyau ouvert avec un ventre de vibration à chacune des deux extrémités et la résonance harmonique est  avec, pour les tuyaux

1, 2, un simple abaissement de diapason.

Excitons maintenant un tuyau cylindrique de même longueur par le frappement de la paume de la main contre l'une de ses ouvertures. Nous constaterons que la résonance est celle d'un tuyau fermé, donc avec un nœud de vibration à l'orifice frappé.

Pourquoi un ventre de vibration à l'orifice frappé des tuyaux tronconiques 1, 2, 3, 4 et un nœud de vibration au tuyau cylindrique ? Simplement parce que la pression exercée par le frappement de la main contre le petit diamètre est trop faible pour former un nœud de vibration, maximum de pression, tandis qu'au tuyau cylindrique la pression s'exerce sur une ouverture égale au diamètre maximum du tuyau, par conséquent, suffisant à la formation d'un nœud de vibration. L'abaissement produit sur les sons fondamentaux des tuyaux 3, 4 et leur résonance harmonique prouve déjà que la pression à la troncature augmente en proportion du diamètre contre lequel elle s'exerce.

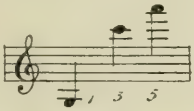
De ce qui précède, nous pouvons conclure que la facture instrumentale ne peut utiliser et cette remarque est importante :

1° Que les tuyaux tronconiques dont nous avons fixé les proportions diamétrales au § 20 ;

2° Que les tuyaux cylindriques.

Pour terminer l'examen de cette section F. signalons un point de moindre importance, mais qu'il est intéressant cependant de connaître :

Excitons le mouvement vibratoire des tuyaux tronconiques 1, 2, 3, 4 par l'insufflation du petit orifice en bouchant le large, opposé, ou, ce qui produit le même effet, nous l'avons vu, en frappant la paume de la main contre l'orifice large, laissant la troncature ouverte ; nous constaterons que la résonance harmonique est celle des tuyaux fermés, à l'exception du son 1, fondamental, qui baisse d'autant plus que le diamètre à la troncature diminue. Ainsi le tuyau n° 2 a pour résonance harmonique



Cette résonance fausse s'explique suffisamment par les détails qui précèdent.

Les tuyaux de la catégorie F. sont très intéressants, on le voit, au point de vue théorique; la connaissance des phénomènes que nous venons d'exposer, apporte au facteur intelligent, de très précieux renseignements.

Au point de vue de leur utilité pratique, leur importance est infiniment moindre ; en effet, on ne trouve ces tuyaux employés que dans la confection de petits instruments populaires : flûtes de Pan, sifflets, appeaux, etc.

22. *Septième section G. — Tuyaux à bouche de forme ovoïde.*

Ces tuyaux très peu importants en facture, ont parfois la bouche latérale, mais, le plus souvent elle est biseautée. Ils trouvent leur emploi dans

des sifflets, des appeaux et dans l'ocarina, descendant du *Hiuen* chinois, dont l'origine remonte à 2.000 ans avant l'ère chrétienne (1).

Les différentes intonations de l'ocarina sont produites par l'ouverture successive de trous latéraux qui mettent la capacité d'air du récipient en communication de plus en plus grande avec l'air environnant ; plus il y a de trous ouverts, plus augmente l'acuité de l'intonation. Les ocarinas se fabriquent en différents tons ; leur échelle est naturellement limitée aux sons fondamentaux, la forme du récipient ne permettant pas la division harmonique.

23. Une dernière, mais très importante remarque concernant les tuyaux à bouche, formant la première branche § 10. L'expérience a démontré que la longueur réelle, pratique, d'un tuyau ne correspond pas exactement à sa longueur théorique. Celle-ci est généralement plus longue que celle-là. Pourquoi ? Simplement parce que la bouche quelle qu'en soit la forme n'exerce pas son action propulsive sur toute la surface du diamètre du tuyau là où elle agit. Feu Cavaillé-Coll, l'éminent facteur d'orgues, a donné deux règles de correction pour les tuyaux des sections A. et B., à bouche biseautée :

1° La longueur théorique des tuyaux prismatiques ou rectangulaires doit être diminuée d'une

---

(1) Voir V.-C. Mahillon. Catalogue descriptif et analytique du Musée Instrumental du Conservatoire Royal de Musique de Bruxelles.

longueur égale à celle de deux fois la profondeur du tuyau. La profondeur est la dimension perpendiculaire à la bouche et à la largeur; celle-ci n'a pas d'influence sur la hauteur du son à produire.

2° La longueur théorique des tuyaux cylindriques doit être diminuée d'une quantité égale aux 5/3 du diamètre.

24. Pour la rectification pratique des tuyaux munis d'une bouche transversale, de nombreuses expériences nous ont permis d'établir les règles suivantes :

1° La longueur théorique des tuyaux cylindriques ouverts doit être diminuée d'une quantité égale aux 3/4 du diamètre. Si les tuyaux cylindriques sont fermés, le raccourcissement de la longueur théorique n'est que de la moitié du diamètre.

Si les tuyaux sont tronconiques, à parois droites, la règle précédente s'applique au diamètre moyen.

2° Lorsqu'il s'agit de tuyaux munis d'une bouche latérale, comme celle des flûtes traversières, outre la rectification à donner par les règles précédentes, on diminue la longueur théorique du tuyau d'une quantité égale à la différence entre le diamètre de la bouche et celui du tuyau à l'endroit que doit occuper la bouche.

3° Les distances théoriques qui existent entre le centre des ouvertures latérales et le centre de

la bouche du tuyau, doivent être raccourcies d'après la règle qui précède, en tenant compte aussi du diamètre des ouvertures latérales; plus celles-ci sont petites plus elles doivent se rapprocher de la bouche.

L'épaisseur des parois du tuyau en bois exerce aussi une influence abaissante qui doit se compenser par le raccourcissement d'une longueur égale à celle de l'épaisseur de la paroi.

La correction à apporter à la longueur théorique des tuyaux tronconiques fermés, appartenant à la section F. échappe au calcul. Nous avons vu que la résonance de ces tuyaux baisse à mesure que le diamètre à la troncature grandit. La correction ne peut se déterminer qu'expérimentalement. Il en est de même des tuyaux ovoïdes de la section G.

25. *Deuxième branche. — Instruments à anche.*

L'anche est un petit appareil formé d'une ou de plusieurs languettes élastiques, mises en vibration par le souffle de l'exécutant ou, comme les tuyaux à bouche, par l'intermédiaire d'un courant provenant d'un réservoir d'air en pression. Nous ne pouvons mieux comparer les effets de l'anche qu'à ceux obtenus par le frappement de la paume de la main contre l'orifice étroit des tuyaux à bouche tronconiques ou contre l'un des orifices du tuyau à bouche cylindrique. La réso-

nance harmonique et la division des tuyaux à anche sont absolument semblables à ceux des tuyaux à bouche de la sixième section F. § 20, 21.

Les languettes de l'anche sont en roseau ou en métal. Quelle que soit la matière employée, leurs vibrations sont silencieuses. C'est l'air qu'elles mettent en mouvement, qui seul produit le son.

Les languettes en roseau sont simples ou doubles.

Elles sont simples lorsque la languette, par ses battements réguliers contre le cadre d'une espèce de rigole sur laquelle elle est adaptée, excite la vibration de la colonne d'air.

Elles sont doubles lorsqu'elles se composent de deux languettes réunies, de façon à laisser entre elles une ouverture elliptique dont les bords sont assez rapprochés pour se fermer et s'ouvrir sensiblement par le souffle et exciter ainsi le mouvement vibratoire de la colonne d'air.

Les languettes de roseau sont si élastiques, si souples qu'elles vibrent synchroniquement avec toutes les longueurs données à la colonne d'air par l'emploi des ouvertures latérales. Ce sont les vibrations de la colonne d'air qui commandent celles des anches.

Les anches en métal ont la languette vibrante en métal. Elles sont *battantes ou libres*.

L'anche battante fonctionne comme celle en roseau ; la languette frappe les bords d'une sorte de gouttière semi-circulaire.

L'anche libre a sa languette rivée à l'un de ses bouts, sur le cadre d'un chassis, dans l'ouverture duquel elle vibre librement.

Les languettes des anches métalliques, beaucoup plus rigides que celles en roseau, exigent un certain rapport entre leurs vibrations et celles du tuyau. Ce sont les vibrations des anches qui commandent celles des colonnes d'air auxquelles elles sont associées.

En dehors des petits appareils qui viennent d'être décrits, les lèvres humaines appuyées fortement sur les bords d'une embouchure à bassin agissent comme de véritables anches et sont considérées comme telles. Les tuyaux qui les utilisent sont dits « à embouchure ».

26. Nous diviserons les instruments appartenant à la deuxième branche en six sections :

A. Tuyaux cylindriques, anche battante en roseau.

B. Tuyaux tronconiques, anche battante en roseau.

C. Tuyaux tronconiques, anche double en roseau.

D. Tuyaux tronconiques, à embouchure.

E. Tuyaux à anche métallique battante.

F. Tuyaux à anche métallique libre.

27. *Première section A. Tuyaux cylindriques, anche battante en roseau.*

L'orchestre moderne n'utilise plus qu'un seul type de cette section, mais il forme une famille nombreuse composée des membres suivants :

1. Clarinette sopranino en *la* ♭, son fondamental *ut*, 49e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 0m,328, effet réel à la sixte mineure aiguë de la note écrite.

2. Clarinette sopranino en *fa*, son fondamental *la*, 46e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 0m,390, effet à la quarte aiguë de la note écrite.

3. Clarinette sopranino en *mi* ♭, son fondamental *sol* 44e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 0m,438, effet réel à la tierce mineure aiguë de la note écrite.

4. Clarinette soprano en *ut*, son fondamental *mi*, 41e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 0m,521, effet réel à l'unisson de la note écrite (1).

5. Clarinette soprano en *si* ♭, son fondamental *ré*, 39e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 0m,585, effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite.

---

(1) On rencontre parfois des clarinettes sopranino en *ré* avec l'effet réel à la seconde majeure aiguë de la clarinette soprano en *ut* n° 4.

6. Clarinette soprano en *la*, son fondamental *ut* ♯, 38e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 0m,620, effet réel à la tierce mineure grave de la note écrite.

7. Clarinette alto en *fa*, ou cor de basset, son fondamental *la*, 34e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 0m,781, effet réel à la quinte grave de la note écrite (2.)

8. Clarinette alto en *mi* ♭, son fondamental *sol*, 32e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 0m,877, effet réel à la sixte majeure grave de la note écrite.

9. Clarinette basse en *ut*, son fondamental *mi*, 29e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 1m,043, effet réel à l'octave grave de la note écrite.

10. Clarinette basse en *si* ♭, son fondamental *ré*, 27e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 1m,171, effet réel à la neuvième majeure grave de la note écrite.

Tous ces instruments sont transpositeurs et s'emploient avec le doigté fictif, à l'exception des numéros 4, 9, non transpositeurs, avec le doigté réel.

Le tuyau des clarinettes est cylindrique ; leur colonne d'air obéit à la loi des tuyaux fermés,

---

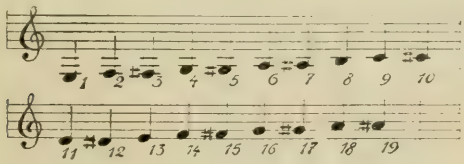
(2) On construit parfois cet instrument avec quatre clefs supplémentaires, il a alors comme son fondamental le *fa*, 30e degré de l'échelle des sons.

dont la division ne produit que les harmoniques impairs, § 9.

L'anche s'applique sur la surface plane d'un petit tuyau de bois, cylindrique, pointu, fermé à son extrémité, appelé bec. Celui-ci s'adapte au tuyau principal par un tenon et une emboîture. La surface plane, *la table*, est percée latéralement d'une ouverture quasi rectangulaire communiquant avec la colonne d'air, la *perce* pour employer ce terme de facture.

L'anche s'attache sur la table par quelques tours de ficelle ou à l'aide d'une ligature métallique. L'exécutant introduit l'extrémité pointue du bec dans la bouche et met l'anche en vibration par le souffle. Avec le minimum de pression sur l'anche on obtient les sons fondamentaux.

Le tuyau est percé latéralement d'une série de trous, dont l'ouverture successive par la levée des doigts ou à l'aide des clefs, raccourcit la colonne d'air. On obtient ainsi les sons fondamentaux suivants, notés au doigté réel, celui de la clarinette en *ut*, numéro 4.



Tous ces sons fondamentaux jusqu'au 14e sautent à leur douzième respective par une légère augmentation de la pression du souffle et cette

division de la colonne d'air est facilitée par une clef spéciale, dite des douzièmes. Celle-ci découvre un petit trou communiquant avec l'air environnant et placée au tiers environ de la longueur du tuyau, à partir de la pointe du bec. Cette légère ouverture établit le ventre de vibration nécessaire à la production des harmoniques 3.

La tastature des clarinettes se complète à partir du son 15, par une octave supplémentaire à l'aiguë formée d'harmoniques 3 et de doigtés irréguliers dont l'examen et l'étude dépasseraient le cadre de ce modeste travail.

La correction pratique à apporter aux longueurs théoriques du tuyau et des trous latéraux ne s'écarte pas sensiblement des règles que nous avons posées au § 24. Il y a toutefois lieu de remarquer que pour amplifier la sonorité des sons fondamentaux 1, 2, 3, 4, il est d'usage d'adapter un pavillon à l'extrémité opposée à l'anche et destinée à élargir progressivement la colonne d'air. Il résulte de cette adaptation que les règles de rectification ne s'appliquent pas à ces sons et que la détermination de leur diamètre et de leur position pratiques ne s'obtient qu'expérimentalement.

28. *Deuxième section B. — Tuyaux tronconiques, à anche battante en roseau.*

Rappelons-nous (§ 20) que les instruments formés de tuyaux tronconiques, à bouche ou à anche

ayant à l'orifice ouvert un diamètre minimum quatre fois plus grand que celui de la troncature, obéissent à la loi des tuyaux ouverts et qu'ils en ont la résonance harmonique. La rectification pratique des longueurs théoriques de ces tuyaux échappe au calcul ; elle ne peut se déterminer qu'expérimentalement.

Nos orchestres n'utilisent qu'un seul type de cette section B., le *saxophone,* mais il forme une famille importante composée des membres suivants :

1° Saxophone sopranino en *mi* ♭, son fondamental *ré*, 51e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 0m,585, effet réel à la tierce mineure aiguë de la note écrite ;

2° Saxophone soprano en *si* ♭, son fondamental *la*, 46e degré de l'échelle, longueur théorique 0m,781, effet réel à la seconde moyenne grave de la note écrite ;

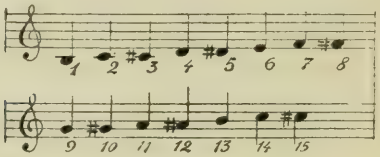
3° Saxophone alto en *mi* ♭, son fondamental *ré*, 39e degré de l'échelle, longueur théorique 1m,171, effet réel à la sixte majeure grave de la note écrite ;

4° Saxophone ténor en *si* ♭, son fondamental *la*, 34e degré de l'échelle, longueur théorique 1m,563, effet réel à la neuvième majeure grave de la note écrite ;

5° Saxophone baryton en *mi* ♭, son fondamental *ré*, 27e degré de l'échelle, longueur théorique 2m, 342, effet réel à la treizième majeure de la note écrite ;

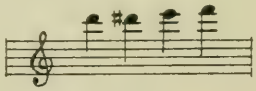
6° Saxophone basse en *si* ♭, son fondamental *la*, 22e degré de l'échelle, longueur théorique 3m,126, effet réel à la seizième majeure grave de la nòte écrite.

L'échelle écrite des saxophones est la suivante:



Tous ces degrés sont des fondamentales obtenues par le raccourcissement des tuyaux à l'aide de l'ouverture successive des trous latéraux par des clefs. Ces degrés se répètent à l'octave aiguë, harmonique 2, par une légère augmentation de la pression du souffle, avec, en plus, l'aide de deux clefs dites d'octave, dont l'ouverture facilite la formation des ventres de vibration nécessaires au partage, à la division de la colonne d'air.

L'échelle se complète à l'aigu par les sons :



dus à l'ouverture successive de quatre clefs placées à proximité du bec.

Tous les saxophones sont transpositeurs et ont le doigté fictif. En somme, le saxophone n'est

qu'une clarinette dont la colonne d'air cylindrique est remplacée par une colonne d'air tronconique. Cette différence, petite en apparence, est grande par ses effets comme nous venons de le constater.

L'invention du saxophone ne date que de 1845; elle est due à un belge, Adolphe Sax. L'application du bec de clarinette avait été faite avant Sax, mais sans donner lieu à la création d'un type nouveau aussi intéressant, surtout que le saxophone (1).

29. *Troisième section C. — Tuyaux tronconiques, à anche double en roseau.*

L'anche double est faite de deux languettes taillées, creusées en gouttière, réunies par leurs bords, de façon à former un minuscule canal. Parfois ces languettes se fixent sur un petit tube de métal tronconique, appelé bocal, leur extrémité supérieure, la partie vibrante, restant libre ; d'autre fois, l'anche se glisse dans une étroite emboîture ménagée à l'extrémité supérieure des instruments de petite taille.

Les principaux instruments de cette section sont :

1° Hautbois soprano en *ut*, son fondamental *si*, 48e degré de l'échelle des sons. Longueur théorique $0^{m},696$, effet réel à l'unisson de la note écrite;

---

(1) Le Musée du Conservatoire de Bruxelles possède, sous le n° 944, un *tenoroon*, sorte de basson à bec et anche battante.

2° Hautbois d'amour en *la*, son fondamental *sol* ♯, 45 degré de l'échelle. Longueur théorique 0^{m},828, effet réel à la tierce mineure grave de la note écrite ;

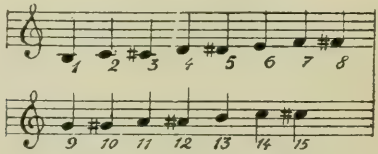
3° Cor anglais en *fa*, son fondamental *mi*, 41e degré de l'échelle. Longueur théorique 1^{m},043, effet réel à la quinte grave de la note écrite ;

4° Basson en *ut*, son fondamental *si* ♭, 23e degré de l'échelle. Longueur théorique 2^{m},950, effet réel à l'unisson de la note écrite ;

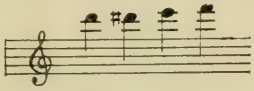
5° Contrebasson en *sol*, son fondamental *fa*, 28e degré de l'échelle. Longueur théorique 3^{m},939, effet réel à la quarte grave de la note écrite ;

6° Contrebasson en *ut*, son fondamental *si* ♭, 11e degré de l'échelle. Longueur théorique 5^{m},900 effet réel à l'octave grave de la note écrite.

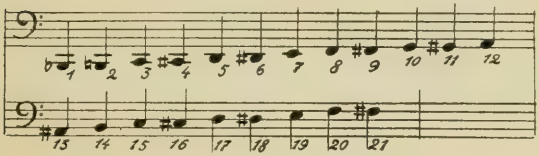
Les instruments 1, 4, 6, sont non transpositeurs, avec le doigté réel, les signes de notation correspondent à l'effet réel. Les trois autres sont transpositeurs et ont le doigté fictif. Les numéros 1, 2, 3, ont la même échelle formée des sons fondamentaux



qui, à partir du 4e, se reproduisent à l'octave

aiguë, harmonique 2. La tastature se complète par les sons  harmoniques 3, obtenus par des doigtés irréguliers (1).

L'échelle des bassons est la suivante :



sons fondamentaux qui se reproduisent à l'octave aiguë à partir du son 10; l'échelle se complète à l'aigu par une troisième octave obtenue à l'aide de doigtés irréguliers.

30. La section C. comprend aussi la famille des *sarrusophones* formée des membres suivants:

1° Sopranino en *mi* ♭, son fondamental *ré* ♭, 50e degré de l'échelle des sons. Longueur théorique $0^m,620$, effet réel à tierce mineure aiguë de la note écrite ;

2° Soprano en *si* ♭, son fondamental *la* ♭, 45e degré de l'échelle. Longueur théorique $0^m,828$, effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite ;

3° Contralto en *mi* ♭, son fondamental, *ré* ♭,

(1) Voir Victor Mahillon. Le matériel sonore des orchestres de symphonie, d'harmonie et de fanfares.

38e degré de l'échelle. Longueur théorique 1m,240 effet réel à la sixte majeure grave de la note écrite ;

4° Ténor en *si* ♭, son fondamental *la* ♭, 33e degré de l'échelle. Longueur théorique 1m,656, effet réel à la neuvième majeure grave de la note écrite ;

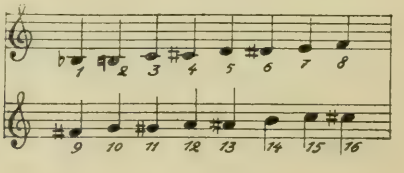
5° Baryton en *mi* ♭, son fondamental *ré* ♭, 26e degré de l'échelle. Longueur théorique 2m,481, effet réel à la treizième majeure grave de la note écrite ;

6° Basse en *si* ♭, son fondamental *la* ♭, 21e degré de l'échelle. Longueur théorique 3m313, effet réel à la seizième majeure de la note écrite ;

7° Contrebasse en *mi* ♭, son fondamental *ré* ♭, 14e degré de l'échelle. Longueur théorique 4m,963 effet réel à la vingtième majeure grave de la note écrite ;

8° Contrebasse en *si* ♭, son fondamental *la* ♭, 9e degré de l'échelle. Longueur théorique 6m,626, effet réel à la vingt-troisième majeure grave de la note écrite.

Tous les sarrusophones sont transpositeurs et ont le doigté fictif semblable à celui du saxophone. Leur notation est la suivante, la même pour tous les membres de la famille.



Ces sons fondamentaux octavient à partir du 5e et l'échelle se complète comme celle du saxophone. Le brevet des sarrusophones porte la date du 9 juin 1856 ; leur création est due à Sarrus, chef de musique de l'armée française et leur construction à l'importante maison parisienne Gautrot et Cie. Ce sont, comme le saxophone, des instruments dont les tuyaux sont en laiton, non pas pour influencer le timbre, mais parce que les larges et longues dimensions de leur colonne d'air ne permettent pas de les établir en bois.

31. *Quatrième section D. — Tuyaux tronconiques, à embouchure* (1).

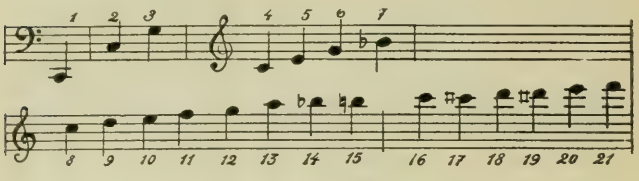
Les lèvres de l'exécutant appuyées sur les bords d'une embouchure métallique à bassin, sont de véritables anches ; elles excitent par le frémissement que le souffle leur imprime, le mouvement vibratoire de la colonne d'air, quelle que soit la longueur que l'exécutant donne aux tuyaux à l'aide d'ouvertures latérales ou de glissières mobiles (§ 33).

Le bassin de l'embouchure est percé au fond, d'une très petite ouverture appelée *grain*. Comparée au grand diamètre extrême du tuyau, cette disposition fait que celui-ci résonne, comme nous l'avons vu, en tuyau ouvert ; elle facilite aussi la

(1) Les instruments à embouchure avec la colonne d'air cylindrique seraient soumis à la loi des tuyaux fermés. Ils ne sont pas employés parce qu'ils ne pourraient produire que des sons harmoniques impairs, de mauvaise qualité, sans valeur musicale.

division de la colonne d'air et, par suite, la production d'une longue suite d'harmoniques.

Il est utile de nous étendre sur l'échelle des harmoniques, de la revoir en l'examinant de près dans ses nombreux et très intéressants détails.



Plus longue est une colonne d'air, plus nombreux sont les harmoniques mais aucune ne pourrait produire tous les degrés de l'échelle susdite. Les questions de longueur se compliquent par les questions de largeur: les colonnes d'air de grand diamètre facilitent la production des sons graves, celles de petit diamètre, les sons aigus.

Un simple coup d'œil sur l'échelle démontre :

1° Que l'intervalle entre deux harmoniques consécutifs devient de plus en plus petit ;

2° Que le nombre d'harmoniques est double d'une octave à l'autre ;

3° Que le rang occupé sur l'échelle générale par l'un des harmoniques indique son rapport vibratoire avec un autre quelconque.

Ainsi $^2/_1$ indique le rapport d'octave, le son aigu fait 2 vibrations pendant que le grave en

fait 1 ; le rapport $^3/_2$ est celui de la quinte ; le son aigu fait 3 vibrations pendant que le grave en fait 2 et ainsi de suite.

L'octave $^2/_1$ est le plus parfait mais aussi le plus sensible des intervalles, la moindre inexactitude dans le rapport blesse l'oreille (1).

La quinte $^3/_2$ consonance parfaite, est un intervalle moins sensible, il admet une certaine tolérance.

La quinte mineure *sol, ré* ♭, et la quarte majeure *sol, ut* ♯ dont le rapport vibratoire est $^{17}/_{12}$ sont des intervalles spéciaux, attractifs, de

---

(1) Les inexactitudes dans l'unisson, les consonances parfaites, octave, quinte et quarte se révèlent par des renforcements et des affaiblissements du son appelés *battements*. Ceux-ci sont d'autant plus nombreux que l'inexactitude du rapport est grande : un *la* de 870 vibrations simples, par exemple, entendu en même temps qu'un *la* de 875 v. s. donnent 875—870= 5 battements à la seconde.

Lorsque deux sons formant un intervalle quelconque produit par de nombreuses vibrations, sont entendus simultanément, on perçoit en prêtant quelque attention, un troisième son provenant de la différence vibratoire entre les deux autres. Ainsi si nous faisons entendre sur un harmonium de préférence, parce que les sons peuvent s'y maintenir facilement, un *ut*, 49e degré, de 512 v. s. en même temps qu'un *sol*, 56e degré, de 768 v. s. on perçoit en même temps, un troisième son, *ut*, 37e degré, de 256 vibrations, différence vibratoire des deux autres :

768—512=256.

C'est le phénomène des *sons résultants*, découverts par Helmholz et qualifiés de *différentiels* pour les distinguer des sons *résultants additionnels*, produits par l'addition des vibrations des deux sons primitifs en présence.

768+512=1280 vibrations qui produisent un *mi*, 65e degré de l'échelle.

même grandeur, 3 tons, ils partagent l'octave en deux parties égales.

La quarte $^4/_3$ est une consonance parfaite aussi mais moindre que la quinte ; la tolérance de l'oreille grandit au fur et à mesure que le rapport vibratoire des intervalles diminue.

La tierce majeure $^5/_4$ est une consonance imparfaite, de même que son renversement la sixte mineure $^8/_5$.

La tierce mineure $^6/_5$ est une consonance imparfaite et son renversement la sixte majeure $^{10}/_6$ ou $^5/_3$ aussi.

Le rapport des intervalles suivants devenant de plus en plus petits, le rapport $^7/_6$ est trop petit pour la tierce mineure.

Le rapport $^8/_7$ est trop grand pour l'intervalle de seconde majeure. L'harmonique 7 est donc trop bas et ne peut s'employer qu'exceptionnellement.

La seconde majeure ou ton nous est fournie par le rapport $^9/_8$; c'est une dissonance, de même que la seconde mineure $^{10}/_9$ et leur renversement respectif les septièmes $^{16}/_9$ et $^{18}/_{10}$ ou $^9/_5$.

La dissonance de demi-ton chromatique *ut, ut♯* est donnée par le rapport vibratoire $^{17}/_{16}$, celle de demi-ton diatonique *ré, ut♯* par $^{18}/_{17}$.

La dissonance nait du rapprochement des

vibrations ; elle est maximum dans nos demi-tons et leur renversement les septièmes.

L'harmonique 11 est étranger à notre système musical, il est trop rapproché du son 10 pour former avec lui un intervalle de ton et trop éloigné du son 12 pour le demi-ton. Les rapports exacts de celui-ci ne nous sont fournis que par les intervalles $^{17}/_{16}$, *ut♯, ut*, demi-son chromatique et $^{18}/_{17}$ *ré, ut ♯*, demi-ton diatonique.

Même raisonnement pour l'harmonique 13 que pour l'harmonique 11. Il ne convient pas à notre système.

Nous avons constaté l'incorrection du son 7, son octave 14 est donc incorrect aussi. Le rapport $^{16}/_{14}$ ou $^{8}/_{7}$ est trop grand pour le ton, et $^{16}/_{15}$ l'est aussi pour le demi-ton.

Les harmoniques 19 et 21 manquent également de correction.

32. La gamme dite des *physiciens* ou des *géomètres* est basée sur les rapports vibratoires des sons de l'échelle harmonique, rapports que nous venons d'analyser. Mais cette gamme admissible en pratique pour certains instruments, ne l'est pas ni en théorie, ni en pratique générale, parce que en raison du caractère omnitonique de notre musique, l'égalité des rapports vibratoires des intervalles de même grandeur est indispensable. Il a fallu pour réaliser cette obligation très rationnelle, imaginer une gamme dite au tempérament égal, qui divise le rapport d'octave 1 : 2 en douze

demi-tons égaux. On y parvient en extrayant la racine douzième de 2, obtenant ainsi la raison d'une progression géométrique, par laquelle on multiplie douze fois de suite le nombre de vibrations du premier degré d'une gamme pour obtenir celui des douze degrés chromatiques suivants.

$$\sqrt[12]{2} = 0.10594631$$

En prenant par exemple pour premier degré 1,00000 vibrations et en multipliant douze fois de suite ce nombre par la raison, nous obtenons les rapports vibratoires suivants :

Degré initial	1,00000		
Seconde mineure ..	1,05946	un demi-ton.	
Seconde majeure ..	1,12245	deux	»
Tierce mineure....	1,18919	trois	»
Tierce majeure....	1,25989	quatre	»
Quarte.....	1,33480	cinq	»
Quarte majeure....	1,41416	six	»
Quinte.....	1,49824	sept	»
Sixte mineure	1,58732	huit	»
Sixte majeure	1,68170	neuf	»
Septième mineure..	1,78169	dix	»
Septième majeure..	1,88762	onze	»
Octave aiguë.....	2,00000	douze	»

Nous pouvons en nous servant de ces rapports déterminer facilement la longueur d'un tuyau quelconque (1).

---

(1) Si pour comparer, nous nous servons des rapports vibratoires de la gamme des physiciens en nous servant de la même base 1,00000, nous avons pour

La quinte $^3/_2$..... =1,50000

Nous avons vu au § 6 de quelle façon on peut déterminer la longueur d'un tuyau dont le nombre de vibrations est connu et nous savons que le *la*, 58e degré de l'échelle des sons est donné par un tuyau ouvert de $0^m,390$ de longueur.

En nous servant des rapports de la gamme tempérée on obtient le même résultat. La longueur d'un tuyau étant inversement proportionnelle au nombre de vibrations, on multiplie $0^m,390$ par 2 pour fixer la longueur d'un tuyau à l'octave inférieure : $0^m,390 \times 2 = 0^m,780$ (1).

Par 1.498 pour un tuyau à la quinte inférieure:

$$0^m,390 \times 1,498 = 0^m,585.$$

Par 1,189 pour un tuyau à la tierce mineure inférieure :

$$0^m,390 \times 1,189 = 0^m,464.$$

On divise la longueur initiale par 2 pour un tuyau à l'octave aiguë $\frac{0,390^m}{2} = 0^m,195$.

---

la quarte $^4/_3$ ..... = 1,33333
la tierce majeure $^5/_4$ ..... = 1,35000
son renversement, la sixte mineure $^8/_5$ .. = 1,60000
la tierce mineure $^6/_5$ ..... = 1,20000
son renversement, la sixte majeure $^5/_3$ .. = 1,66666
nous constatons : que la quinte *tempérée* est légèrement basse, que la quarte est un peu haute, que la tierce majeure est haute, que la tierce mineure est basse, que la sixte mineure est basse et la sixte majeure haute. Mais la différence entre ces rapports est si petite et notre oreille est si complaisante qu'il n'y a pas lieu d'en tenir compte en pratique.

---

(1) Trois décimales suffisent en pratique.

Par 1,498 pour un tuyau à la quinte aiguë :

$$\frac{0^m,390}{1,498} = 0^m,260.$$

Par 1,189 pour un tuyau à la tierce mineure aiguë :

$$\frac{0^m,390}{1,189} = 0^m,328.$$

En règle générale, il est plus pratique d'appliquer ces calculs aux tuyaux dont la longueur a été déterminée expérimentalement qu'à ceux dont la longueur a été fixée théoriquement. Une différence, nous l'avons vu aux § 23 et 24, existe entre la longueur pratique et la longueur théorique, mais cette différence, proportionnelle naturellement aux rectifications de longueur subies par le tuyau, est si petite, qu'elle se corrige aisément par les procédés de la pratique.

Les rapports vibratoires des degrés de la gamme des physiciens étant plus faciles à se rappeler que ceux de la gamme tempérée, rien ne s'oppose à ce que l'on s'en serve de préférence pour déterminer les longueurs tonales à donner aux différents tuyaux, l'une de ces longueurs étant connue.

Les deux tableaux qui suivent sont intéressants, les longueurs de la gamme tempérée et celle de la gamme des physiciens sont exposées comparativement.

GAMME ASCENDANTE	Gamme des physiciens	Gamme tempérée
ut	$2^{m}000$	$2^{m}000$
(1) *utz*, demi-ton, rapport $^{17}/_{18}$, long. $\frac{2^{m}000 \times 17}{18}$		$1^{m}887$
ou raccourcissement: $\frac{2^{m}000 \times 1}{18} = 0^{m}111$	$1^{m}888$	
ré, seconde majeure, rapport $^{8}/_{9}$, long. $\frac{2^{m}000 \times 8}{9}$		$1^{m}781$
ou raccourcissement: $\frac{2^{m}000 \times 1}{9} = 0^{m}222$	$1^{m}777$	
mib, tierce mineure, rapport $^{5}/_{6}$, long. $\frac{2^{m}000 \times 5}{6}$		$1^{m}681$
ou raccourcissement $\frac{2^{m}000 \times 1}{6} = 0^{m}333$	$1^{m}666$	
mi, tierce majeure, rapport $^{4}/_{5}$, long. $\frac{2^{m}000 \times 4}{5}$		$1^{m}587$
ou raccourcissement: $\frac{2^{m}000 \times 1}{5} = 0^{m}400$	$1^{m}600$	
fa, quarte, rapport $^{3}/_{4}$, longueur $\frac{2^{m}000 \times 3}{4}$		$1^{m}498$
ou raccourcissement: $\frac{2^{m}000 \times 1}{4} = 0^{m}500$	$1^{m}500$	
faz, quarte maj., rapport $^{12}/_{17}$, long. $\frac{2^{m}000 \times 12}{17}$		$1^{m}414$
ou raccourcissement: $\frac{2^{m}000 \times 5}{17} = 0^{m}588$	$1^{m}412$	
sol, quinte, rapport $^{2}/_{3}$, longueur $\frac{2^{m}000 \times 2}{3}$		$1^{m}325$
ou raccourcissement: $\frac{2^{m}000 \times 1}{3} = 0^{m}666$	$1^{m}333$	

(1) Remarquer que le rapport de demi-ton $^{17}/_{18}$ correspond exactement à celui du demi-ton tempéré.

GAMME ASCENDANTE	Gamme des physiciens	Gamme tempérée
la b, sixte mineure, rapport $^5/_8$, long. $\frac{2^m000 \times 5}{8}$		1^m259
ou raccourcissement : $\frac{2^m000 \times 3}{8} = 0^m750$	1^m250	
la, sixte majeure, rapport $^3/_5$, long. $\frac{2^m000 \times 3}{5}$		1^m189
ou raccourcissement : $\frac{2^m000 \times 2}{5} = 0^m800$	1^m200	
si b, septième min., rapport $^9/_{16}$ long. $\frac{2^m000 \times 9}{16}$		1^m122
ou raccourcissement : $\frac{2^m000 \times 7}{16} = 0^m875$	1^m125	
si, septième maj., rapport $^9/_{17}$ long. $\frac{2^m000 \times 9}{17}$		1^m059
ou raccourcissement : $\frac{2^m000 \times 8}{17} = 0^m941$	1^m059	
ut, octave aiguë, rapport $^1/_2$, long. $\frac{2^m000 \times 1}{2}$	1^m000	1^m000

GAMME DESCENDANTE	Gamme des physiciens	Gamme tempérée
ut	1^m000	1^m000
(1) *si*, demi-ton, rapport $^{18}/_{17}$, long. $\frac{1^m000 \times 18}{17}$		1^m059
ou allongement : $\frac{1^m000 \times 1}{17} = 0^m059$	1^m059	
si♭, seconde maj., rapport $^{9}/_{8}$, long. $\frac{1^m000 \times 9}{8}$		1^m122
ou allongement : $\frac{1^m000 \times 1}{8} = 0^m125$	1^m125	
la, tierce mineure, rapport $^{6}/_{5}$, long. $\frac{1^m000 \times 6}{5}$		1^m189
ou allongement : $\frac{1^m000 \times 1}{5} = 0^m200$	1^m200	
la♭, tierce majeure, rapport $^{5}/_{4}$, long. $\frac{1^m000 \times 5}{4}$		1^m259
ou allongement : $\frac{1^m000 \times 1}{4} = 0^m250$	1^m250	
sol, quarte, rapport $^{4}/_{3}$, longueur $\frac{1^m000 \times 4}{3}$		1^m325
ou allongement : $\frac{1^m000 \times 1}{3} = 0^m333$	1^m333	
sol♭, quarte min., rapport $^{17}/_{12}$, long. $\frac{1^m000 \times 17}{12}$		1^m414
ou allongement : $\frac{1^m000 \times 5}{12} = 0^m416$	1^m416	
fa, quinte, rapport $^{3}/_{2}$, longueur $\frac{1^m000 \times 3}{2}$		1^m498
ou allongement : $\frac{1^m000 \times 1}{2} = 0^m500$	1^m500	

(1) Remarquer que le rapport de demi-ton $^{18}/_{17}$ correspond exactement à celui du demi-ton tempéré.

GAMME DESCENDANTE	Gamme des physiciens	Gamme tempérée
mi, sixte mineure, rapport $^{8}/_{5}$, long. $\frac{1^{m}000 \times 8}{5}$		$1^{m}587$
ou allongement: $\frac{1^{m}000 \times 3}{5} = 0^{m}600$	$1^{m}600$	
mib, sixte majeure, rapport $^{5}/_{3}$, long. $\frac{1^{m}000 \times 5}{3}$		$1^{m}681$
ou allongement: $\frac{1^{m}000 \times 2}{3} = 0^{m}666$	$1^{m}666$	
ré, septième min. rapport $^{16}/_{9}$, long. $\frac{1^{m}000 \times 16}{9}$		$1^{m}781$
ou allongement: $\frac{1^{m}000 \times 7}{9} = 0^{m}777$	$1^{m}777$	
reb, septième maj., rapport $^{17}/_{9}$, long. $\frac{1^{m}000 \times 17}{9}$		$1^{m}887$
ou allongement: $\frac{1^{m}000 \times 8}{9} = 0^{m}888$	$1^{m}888$	
ut, octave grave, rapport $^{2}/_{1}$, long. $\frac{1^{m}000 \times 2}{1}$	$2^{m}000$	$2^{m}000$

En examinant de près ce dernier tableau nous constatons que les différences de longueur données par les deux gammes se portent surtout sur les tierces, mineures et majeures, et leur renversement, les sixtes, majeures et mineures. L'écart le plus grand se porte sur la sixte majeure. La gamme tempérée donne une longueur de $1^m,681$
la gamme des physiciens une longueur de $1^m,666$

Différence.... $0^m,015$

insignifiante sur des colonnes d'air aussi longues que celle des instruments à embouchure.

Nous nous sommes étendu un peu longuement sur ces calculs, mais nous pensons que l'on en reconnaîtra l'utilité dans la suite de ce travail. Un dernier détail s'impose encore : il se rapporte aux deux principaux diapasons en usage : Le diapason généralement en cours en Belgique, en Angleterre et aux Etats-Unis, accuse 905 vibrations simples pour le *la*, 58e degré de l'échelle des sons. Le diapason nouveau, dit *normal*, qui ne tardera pas à devenir international, espérons-le, a été fixé en France en 1859, à 870 v. s., à la température de 15° cent. Les deux diapasons se trouvent donc dans le rapport $\frac{905}{870}$

Supposons avoir devant nous un instrument au diapason normal mesurant $1^m,404$ de longueur. De quelle quantité faut-il diminuer cette longueur pour transformer l'instrument au diapason de 905 v. s.? Il faut simplement multiplier $1^m,404$

par $\frac{870}{905}$. Le résultat nous donnera $1^m,349$ pour longueur de l'instrument au diapason de 905.

Comme preuve, multiplions cette longuèur de $1^m,349$ par le rapport inverse $\frac{905}{870}$, nous obtiendrons $1^m,404$ pour longueur de l'instrument au diapason de 870 v. s.

33. Passons à l'étude de la section D. Nous la diviserons pour la faciliter en quatre sous-sections :

a) Instruments à embouchure, de longueur fixe ;

b) Instruments à embouchure de longueurs variables par l'emploi d'ouvertures latérales ;

c) Instruments à embouchure de longueurs variables par l'emploi de coulisses mobiles ;

d) Instruments à embouchure de longueurs variables par l'emploi de pistons ou de cylindres.

L'expérience démontre non seulement que les instruments de la section D. ne peuvent utiliser le tuyau cylindrique résonnant en tuyau fermé, mais encore qu'un tuyau suffisamment long pour donner une échelle harmonique, vibre dans de mauvaises conditions de justesse et de sonorité lorsque son développement tronconique est obtenu à l'aide de parois droites. Il est indispensable qu'elles s'infléchissent d'après une courbe régulière.

Le tracé de cette courbe ne s'est fait jusqu'à présent, pensons-nous, que par tâtonnements, par routine.

Depuis de bien nombreuses années nous nous sommes occupé à rechercher le tracé d'une courbe régulière des parois et il nous paraît que le résultat obtenu mérite communication.

34. Il résulte de nos expériences que le timbre doux, moelleux, s'obtient par une colonne d'air dont le développement suit une progression géométrique depuis l'embouchure jusqu'à la naissance du pavillon. Plus cette progression est forte, plus le caractère du timbre s'accentue.

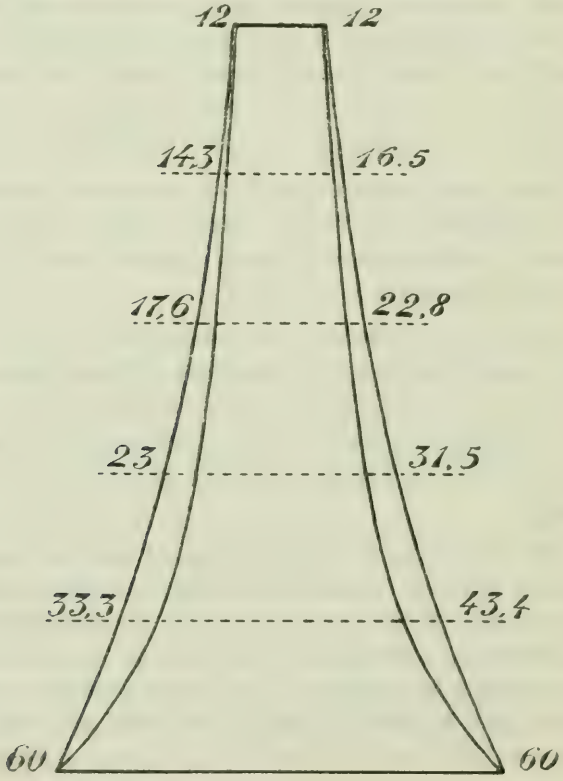
Le timbre éclatant, brillant est dû au faible développement du tuyau tronconique ; on l'obtient en infléchissant les parois suivant une courbure hyperbolique.

En pratique, on doit forcément interrompre la régularité des deux courbes par l'intercalation de parties cylindriques indispensables aux allongements de la colonne d'air ; il va de soi que ces irrégularités doivent se borner au strict nécessaire.

De plus, dans les deux courbes, le tracé de l'épanouissement du pavillon échappant au calcul, doit satisfaire l'œil par des lignes qui se raccordent bien à celles qui précèdent. Il faut tenir compte de ce fait intéressant que plus le pavillon s'évase brusquement plus le timbre s'adoucit. Il suffit de couper un peu les bords d'un pavillon de cor pour chan-

gu le timbre doux de cet instrument et le rapprocher de celui de la trompette.

Le croquis qui suit représente deux tuyaux dont l'un, le plus large, celui dont les dimensions diamètrales sont indiquées à droite, a les parois développées suivant une progression géométrique, l'autre, le plus étroit celui dont les dimensions diamètrales sont indiquées à gauche, a les parois développées suivant une courbure hyperbolique.



Un simple coup d'œil démontre que le tuyau dont les parois ont une courbure hyperbolique, succède mieux à une longueur de tuyaux cylindriques, la tangence correcte étant plus facilement obtenue.

Le tracé de ces courbes n'offre pas de difficulté sérieuse.

Pour la progression géométrique nous avons la formule :

$$R = \sqrt[n]{\frac{D}{d}}$$

R est la *raison,* le nombre par lequel il faut multiplier le diamètre de l'un des termes pour connaître celui du suivant;

n est la *racine* à extraire, le nombre de termes dans lequel la longueur du tuyau doit se diviser;

D indique le diamètre maximum;

d le diamètre minimum.

Remplaçant les lettres par des chiffres nous avons pour le tuyau à progression géométrique du croquis

$$R = \sqrt[5]{\frac{60}{12}} = 1.37973$$

Ce calcul se fait aisément par les logarithmes.

En multipliant le diamètre minimum 12 par R, nous obtenons 16.5 pour diamètre du premier terme; multipliant celui-ci par R nous avons 22.8, diamètre du deuxième terme.

Continuant ainsi, la 5e multiplication nous donnera le diamètre du 5e terme, 60, diamètre maximum du tuyau.

Pour le calcul des dimensions diamétrales du tuyau à parois développées en courbure hyperbolique nous avons la formule :

$$m = \frac{n \times D \times d}{n \times d + (D - d) \times}$$

m est le diamètre du terme cherché.

x indique le rang occupé par ce terme ; le multiplicateur de la quantité (D — d).

Traduisons en chiffres la formule, nous avons :

$$m = \frac{5 \times 60 \times 12}{5 \times 12 + 48 \times x}$$

remplaçons *x* par le chiffre du rang occupé par le terme et évaluons la valeur de *m*, premier rang précédent le diamètre maximum, nous aurons

$$\frac{3600}{60 + 48 \times 1} = 33.3$$

pour le 3e terme

$$\frac{3600}{60 + 48 \times 3} = \frac{3600}{204} = 17.6$$

pour le 5e terme

$$\frac{3600}{60 + 48 \times 5} = \frac{3600}{300} = 12, \text{ diamètre minimum.}$$

Il est à remarquer dans les deux formes de développement que :

plus nombreux, plus rapprochés, sont les termes, plus faciles sont les tracés ;

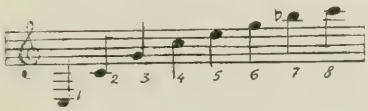
plus longs sont les tuyaux avec les mêmes diamètres extrêmes, moins les courbures se prononcent.

Nous n'avons pas à nous occuper dans cette petite étude des moyens de fabrication pratique qui consistent à faire au tour des mandrins en fer très exactement calibrés d'après ces calculs, sur lesquels s'adaptent les tuyaux en cuivre en assurant leur adhérence parfaite par des filières, des tours à repousser, ou d'autres moyens.

Passons à l'examen des sous-sections.

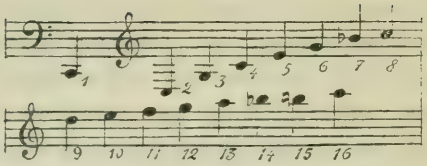
35. *Première sous-section A. — Instruments à embouchure, de longueur fixe.*

Les instruments suivants y trouvent leur place : 1. Clairon d'ordonnance. Timbre doux, colonne d'air développée en progression géométrique. Son fondamental *si b*, 35e degré de l'échelle des sons. Longueur théorique 1 m. 475. Instrument transpositeur avec l'effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite :



Les sons 1, 7, 8 sont rarement employés.

36. 2. Trompette d'ordonnance. Timbre brillant éclatant, tuyau développé en courbe hyperbolique. Son fondamental *mi b*, 28e degré de l'échelle. Longueur théorique 2 m. 211. Instrument transpositeur avec l'effet réel à la tierce mineure aiguë de la note écrite.



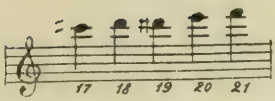
Les sons 1, 2, 3, 7, 11, 13, 14, 15, 16 ne sont guère employés.

37. 3. Trompette basse d'ordonnance. Timbre brillant, tuyau développé en courbe hyperbolique. Son fondamental *mi b*, 16e degré de l'échelle. Longueur théorique 4 m. 422. Instrument transpositeur avec l'effet réel à la sixte majeure grave de la note écrite.

L'échelle harmonique est la même que celle de l'instrument précédent. Cette trompette est très exceptionnellement employée. Les sons 1, 2, 3, 7, 11, 13, 14 sont rarement utilisés.

38. 4. Trompette simple d'orchestre. Timbre brillant, tuyau développé en courbe hyperbolique. Son fondamental *ré*, 27e degré de l'échelle. Longueur théorique 2 m. 342. Instrument transpositeur avec l'effet réel à la seconde majeure aiguë de la note écrite.

L'échelle harmonique est la même que celle de la trompette n° 2 avec, en plus, les harmoniques aigus.



C'est la fameuse trompette très employée par Haendel et Bach dans leurs merveilleuses et immortelles compositions. Cette étendue énorme à l'aigu est un sujet d'étonnement de nos jours, d'aucuns ont même crié à l'impossible, mais à tort, car ces harmoniques *nous les avons entendus*.

Cette région aiguë s'appelait *clarino* et était confiée à des artistes qui en faisaient une étude spéciale, elle se divisait en deux parties : la première commençait au son 8 et se terminait aux dernières limites de l'aigu ; la seconde partait du son 6 et ne dépassait pas le son 12.

Certes l'exécution n'était pas facile, elle blessait souvent, très souvent, l'oreille et l'exposait à de véritables désastres, mais la difficulté était vaincue par le travail, la volonté et la hardiesse.

La trompette d'orchestre en *ré* se transposait généralement en *ut* à l'aide d'un corps de rechange (1) cylindrique allongeant le tuyau d'un ton, rapport 9/8. L'instrument devenait ainsi non transpositeur avec l'effet réel à l'unisson de la note écrite.

---

(1) Appelé aussi *ton* de *rechange* et parfois, simplement, *ton*.

La longueur *pratique* de la trompette en *ré* étant de 2 m. 236, il fallait d'après la règle du tableau de la gamme descendante, § 32, ajouter à cette longueur son 1/8 soit $\frac{2^m,236}{8} = 0^m,279$.

Il est à remarquer que pour faciliter l'usage des corps de rechange les instruments destinés à les employer en utilisent un dont la longueur est comprise dans celle de la tonalité initiale.

C'est celui-ci que l'on remplace par d'autres de plus en plus longs selon les besoins. Il va de soi qu'aux longueurs de ces corps de rechange recherchés par le calcul, il faut ajouter celle du corps initial en tenant compte des emboîtures. Ainsi si le corps de rechange de la trompette en *ré* mesure 0^m10 de longueur effective, le corps de rechange en *ut mesurera*

$$0^m279 + 0^m10 = 0^m289$$

39. A une époque plus rapprochée de la nôtre on a construit des trompettes d'orchestre en *sol*, 32e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 1^m754 avec la même échelle harmonique que la trompette d'ordonnance n° 2, l'effet réel étant à la quinte aiguë de la note écrite. Ces trompettes, toutes transpositrices, sauf celle en *ut*, étaient munies de corps de rechange cylindriques qui les transposaient en *fa*, *mi*, *mi* ♭ *ré*, *ré* ♭, *ut*, et même *si* et *si* ♭.

40. Cor de chasse. Timbre mixte, développement géométrique. Il est construit le plus souvent

en *ré*, 15e degré de l'échelle, longueur théorique 4m685. Transpositeur, son échelle harmonique est semblable à celle de la trompette basse n° 3 avec l'effet réel à la septième mineure grave de la note écrite.

Le cor de chasse est d'origine bohémienne. Introduit en Allemagne vers 1713 il y fut très en vogue sous le nom de *Waldhorn, cor des bois.*

41. Cor d'orchestre. Transformation du cor de chasse opérée en Allemagne où il porte encore le nom du type originaire Waldhorn. Son introduction dans les pays occidentaux ne date que de la seconde moitié du XVIIIe siècle et son usage n'a pas encore complètement disparu de nos orchestres malgré la supériorité incontestable des instruments à pistons ou à cylindres que nous examinerons plus loin.

Le développement tronconique du tuyau du cor d'orchestre est en progression géométrique un peu plus accentuée que celle du cor de chasse. Le timbre doux, moelleux qui en résulte le distingue de beaucoup de tous les autres instruments à embouchure. Le cor d'orchestre est construit en *si* ♭, son fondamental *si* ♭, 23e degré de l'échelle. Longueur théorique 2m,950, avec l'effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite. Son échelle écrite est celle de la trompette d'ordonnance n° 2, § 36.

Il est certain qu'un cor construit en une seule tonalité ne pouvait répondre aux nécessités de

notre musique omnitonique. On imagina donc de munir le cor de tons de rechange en nombre suffisant pour fournir une échelle harmonique à chacune des principales tonalités. Ils étaient parfois jusqu'à treize y compris le ton de *si*♭, initial, un pour chacun des degrés de la gamme chromatique. La longueur de chacun de ces corps de rechange se calculera facilement en suivant les indications du tableau de la gamme chromatique descendante, § 32.

A l'exception du corps de rechange en *ut*,, 13e degré de l'échelle, non transpositeurs avec le doigté réel, tous ces corps de rechange étaient transpositeurs avec le doigté fictif.

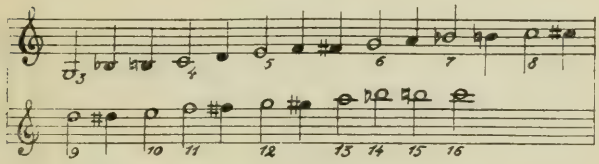
Des inconvénients multiples résultant de l'emploi de cet important et très encombrant matériel, devait naître le progrès.

En 1753 un corniste de la Chapelle royale de Dresde, A. J. Hampel, imagina de remplacer les corps de rechange intercalés entre l'embouchure et l'instrument, par des tuyaux de même longueur insérés vers le milieu du tuyau, à l'aide de coulisses.

Sous cette forme nouvelle le cor prit le nom d'*Invention Horn*. Mais ce progrès très contestable, ne pouvait amener aucune amélioration artistique et le matériel restait toujours encombrant. Un peu plus tard le même artiste, véritable chercheur aimant son art, découvrit par hasard qu'en introduisant la main dans le pavillon du cor, il

était possible de produire une nouvelle série d'harmoniques, un demi-ton et même un ton plus bas que ceux de la série naturelle ; les *sons bouchés* étaient trouvés ; ils devaient faire, ils firent la fortune du *cor à main* comme on l'appelait parfois. Le succès fut tel que ce cor n'est pas encore complètement abandonné de nos jours quoique ce mélange de sons ouverts et de sons bouchés soit loin de produire un effet satisfaisant : la sainte routine est une barrière difficile à franchir !

L'échelle du cor à main était la suivante. Nous notons les sons bouchés en noires, les harmoniques naturels en blanches :



Le progrès existait bien certainement, il permettait de diminuer considérablement le nombre de corps de rechange, et, à ce point de vue seul, et faute de mieux, la vogue de cette nouvelle technique était justifiée.

42. *Deuxième sous-section B. — Instruments à embouchure de longueur variable par l'emploi d'ouvertures latérales.*

L'orchestre contemporain n'utilise que très exceptionnellement les instruments de cette sous-

section. Mais comme il en est parmi eux qui ont brillé d'un vif éclat à une époque encore peu éloignée de la nôtre, il nous paraît utile de nous arrêter un instant sur eux. Ils formaient deux familles: celle des *cors à clefs* ayant pour origine les anciens *cornets à bouquin* et celle des *ophicléides* qui dérivent des *serpents* et des *bassons russes*. Nous les réunissons en une seule famille à timbre doux avec courbe géométrique approximative et très irrégulière.

1. *Le cor à clefs soprano en mi* ♭, son fondamental *ré*, 39e degré de l'échelle des sons ; longueur théorique 1m,171 ; effet réel à la tierce mineure aiguë de la note écrite.

2. *Le cor à clefs contralto en ut*, son fondamental *si*, 36e degré de l'échelle ; longueur théorique 1m,392 ; effet réel à l'unisson de la note écrite.

3. *Le cor à clefs contralto en si* ♭, son fondamental *la*, 34e degré de l'échelle ; longueur théorique 1m,563; effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite.

4. *Ophicléide alto en fa*, son fondamental *mi*, 29e degré de l'échelle ; longueur théorique 2m,087; effet réel à la quarte aiguë de la note écrite.

5. *Ophicléide alto en mi* ♭, son fondamental *ré*, 27e degré de l'échelle ; longueur théorique 2m,342; effet réel à la tierce mineure aiguë de la note écrite.

6. *Ophicléide basse en ut*, son fondamental *si*, 24e degré de l'échelle ; longueur théorique 2m,785; effet réel à l'unisson de la note écrite.

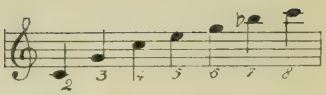
7. *Ophicléide basse en si♭*, son fondamental *la*, 22e degré de l'échelle : longueur théorique 3m,126 ; effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite.

8. *Ophicléide monstre en fa*, son fondamental *mi*, 17e degré de l'échelle ; longueur théorique 4m,174 ; effet réel à la quinte grave de la note écrite.

Tous ces instruments sont transpositeurs et s'emploient avec le doigté fictif à l'exception du cor à clefs n° 2 et de l'ophicléide n° 6, ceux-ci sont non-transpositeurs avec le doigté réel. Il nous suffira d'examiner ces deux derniers instruments pour nous rendre compte de la routine qui préside à la construction de tous les types de cette famille.

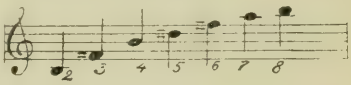
Le cor à clefs est percé de six trous latéraux recouverts de clefs. La position de la première ouverture étant déterminée expérimentalement, on pourra se servir des règles exposées § 24 et du tableau de la gamme du § 32 pour rechercher la place des autres.

La première des six clefs est ouverte; les cinq autres sont fermées. Dans cette position l'instrument donne les harmoniques suivants notés à l'effet réel.



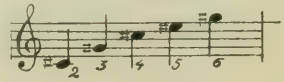
Le son fondamental 1 n'est pas employé.

En fermant la première clef la colonne d'air s'allonge d'un demi-ton et produit les harmoniques.

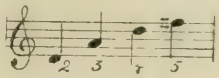


Dans ces deux positions, la seconde surtout, avec la première clef fermée, l'instrument se trouve dans de bonnes conditions et pour peu que la colonne d'air se développe en une progression géométrique convenable, les harmoniques se suivent en rapports vibratoires satisfaisants. Il n'en est plus de même au fur et à mesure que le tuyau se raccourcit par l'ouverture des clefs, la colonne d'air devenant de plus en plus irrégulière

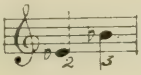
La 2e clef ouverte ne produit plus convenablement que les harmoniques.



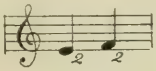
L'ouverture de la troisième clef ne donne plus que



celle de la quatrième :

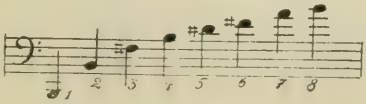


Il ne manque plus pour compléter l'échelle chromatique que deux degrés.

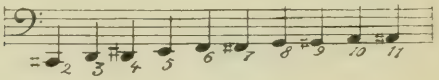


Le *mi* s'obtient par l'ouverture de la cinquième clef; le *fa*, par l'ouverture simultanée des cinquième et sixième clefs.

43. L'échelle des ophicléides est obtenue à l'aide des mêmes principes mais le développement tronconique du tuyau étant plus prononcé que celui des cors à clefs, on peut utiliser le son fondamental qui est relié au son 2 à l'aide de onze clefs dont la première est ouverte. La fermeture de celle-ci permet la production des harmoniques suivants dont l'effet réel est à l'unisson de la note écrite.



En ouvrant la première clef, les intonations haussent d'un demi-ton avec l'effet réel à l'unisson de la note écrite et l'ouverture successive des autres clefs procure les intonations de l'échelle suivante avec l'effet réel également à l'unisson de la note écrite.



L'échelle se complète à l'aigu par les mêmes procédés que ceux que nous avons indiqués pour le cor à clefs.

44. *Troisième sous-section C. Instruments à embouchure de longueurs variables par l'emploi de coulisses mobiles.*

La coulisse appliquée aux instruments de cette sous-section, se compose de deux tuyaux cylindriques glissant à frottement doux, l'un dans l'autre, sans déperdition d'air. Les deux tuyaux fonctionnent parallèlement et sont réunis par un coude plié en arc de cercle, appelé *potence*. L'un des deux bouts libres de la coulisse reçoit l'embouchure, l'autre un tuyau tronconique qui se développe en courbure hyperbolique terminé par un pavillon.

Cette forme de tuyau engendre comme nous l'avons dit au § 34 le timbre éclatant, brillant,

métallique, comme on le qualifie parfois. La colonne d'air mise en vibration sans faire fonctioner la coulisse, produit l'échelle harmonique la plus aiguë. En tirant la coulisse, le tuyau s'allonge et produit, proportionnellement à cet allongement, une échelle de plus en plus grave.

La sous-section *C* ne comprend qu'une seule famille, celle des trombones qui ne sont en somme que de grandes trompettes, les *trombe* italiennes comme l'indique l'augmentatif, italien aussi, *trombone*, grande trompette.

La famille comprend les types suivants :

1° Trombone alto en *mi b*, son fondamental *mi b*, 28e degré de l'échelle des sons, longueur théorique 2m211, avec l'effet réel à la tierce mineure aiguë de la note écrite ;

2° Trombone ténor en *ut*, son fondamental, *ut*, 25e degré de l'échelle ; longueur théorique 2m,629 avec l'effet réel à l'unisson de la note écrite.

3° Trombone ténor en *si b*, son fondamental *si b*, 23e degré de l'échelle des sons ; longueur théorique 2m950 avec l'effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite.

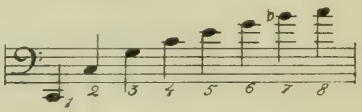
4° Trombone basse en *sol*, son fondamental *sol*, 20e degré de l'échelle, longueur théorique 3m509 avec l'effet réel à la quarte grave de la note écrite.

5° Trombone basse en *fa*, son fondamental *fa*, 18e degré de l'échelle ; longueur théorique 3m,939, avec l'effet réel à la quinte grave de la note écrite.

6° Trombone contrebasse en *si b*, son fondamental, *si b*, 11e degré de l'échelle, longueur théorique 5m,900 avec l'effet réel à la seconde majeure de la note exceptionnellement écrite pour ce dernier type, à l'octave inférieure de la notation employée pour les autres trombones. Tous, à l'exception du n° 2 qui est non transpositeur avec le doigté réel, sont transpositeurs avec le doigté fictif. Il est bon de savoir que, dans la pratique de l'orchestre, tous les trombones sont souvent rendus non transpositeurs par l'emploi du doigté transpositeur.

45. Nous nous servirons du trombone ténor n° 3, transpositeur, pour expliquer le fonctionnement de la coulisse et, pour simplifier les détails, nous prendrons pour point de départ la longueur théorique de ce trombone 2m950.

La coulisse à fond, la résonance harmonique écrite est la suivante :

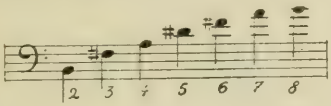


C'est ce qu'on appelle la première position.

Les sons fondamentaux 1, les pédales, comme les appelait Berlioz, ne s'emploient qu'exceptionnellement ; leur émission présente une certaine difficulté due à l'étroitesse du tuyau, cylindrique

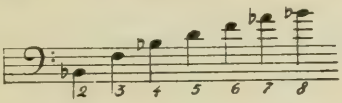
à cause de la coulisse, sur une grande partie de la longueur.

En tirant la coulisse de la quantité nécessaire pour allonger le tuyau d'un demi-ton 18/17, nous obtenons les harmoniques :

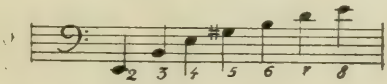


C'est la deuxième position.

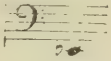
Pour la troisième position, en allongeant les tuyaux de la seconde majeure 9/8 nous avons :



et ainsi de suite jusqu'à la septième position



produite par un allongement de quinte mineure $^{17}/_{12}$.

L'instrumentiste désire parfois une huitième position, pour produire le  en allongeant le tuyau d'une quinte $^{3}/_{2}$. Disons-le, après cela il faut retirer l'échelle ! (1).

---

(1) Ici encore, le tableau de la gamme descendante, § 32, page 55, nous donne les moyens d'évaluer facilement les longueurs des huit positions. Mais ne perdons pas de vue que la coulisse étant double, les allongements ne sont que de la moitié.

Au dix-huitième siècle, on appliqua la coulisse à la trompette et même au cor. Cette dernière tentative n'eut pas grand succès ; il n'en fut pas de même pour la trompette à coulisse dont l'usage n'est pas encore complètement abandonné en Angleterre. On se demande, non sans raison, si ce n'est pas là l'instrument que Bach désigne sous le nom de *tromba da tirarsi*. *La coulisse* rallongeait la trompette d'un demi-ton, d'un ton et d'un ton et demi. Elle avait ainsi construite, une échelle chromatique complète.

46. *Quatrième section D. Instruments à embouchure de longueurs variables par l'emploi de pistons ou de cylindres.*

L'invention des pistons ou cylindres remonte à 1815 ; elle est due à Henri Stoelzel, de Pless (Haute-Silésie) et à Frédéric Blühmel, de Waldenburg (Silésie).

Le mouvement du piston ou du cylindre met la colonne d'air principale en communication avec un *tube additionnel* inévitablement cylindrique. Le nombre de pistons étant généralement de trois, la colonne d'air s'allonge d'un ton majeur 9/8 par l'emploi du 1er piston, d'un demi-ton 18/17 par l'emploi du 2e piston, d'une tierce mineure 6/5 par l'emploi du 3e piston (1).

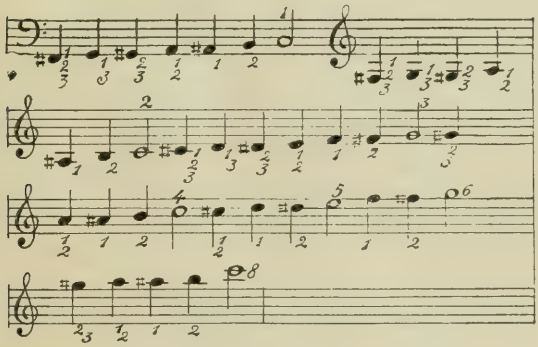
---

(1) Le tube additionnel se termine par une petite coulisse qui permet de l'allonger proportionnellement à la longueur du corps de rechange, éventuellement employé.

La longueur de la colonne d'air principale étant connue il est facile de calculer celle de chacun des tubes additionnels ; nous venons de le voir aux instruments à coulisse (2).

Mais pendant le jeu de l'instrument, la coulisse de la sous-section précédente est extensible tandis que le tube additionnel du piston ne l'est pas. De cette différence résulte pour le piston une infériorité que nous allons essayer d'expliquer.

Examinons un instrument non transpositeur en *ut* de 1m314 de longueur théorique, nous obtenons en nous aidant des 3 pistons, l'échelle chromatique suivante :



Les harmoniques du tuyau sans l'emploi des pistons, sont notés en blanches avec les chiffres

(2) Consulter le tableau de la gamme descendante, § 32, page 55.

du rapport vibratoire *au-dessus ;* les sons obtenus à l'aide des pistons sont notés en noires, avec, *au-dessous*, les chiffres indiquant les pistons employés seuls ou simultanément.

Les sept premières notes correspondent aux sept positions du trombone ; ce sont des fondamentales d'un emploi très exceptionnel. Comme au trombone à coulisse on obtient parfois une huitième position, la fondamentale *fa*, en donnant au troisième piston un tube additionnel d'une longueur de deux tons, tierce majeure 5/4 au lieu de un ton et demi, tierce mineure 6/5.

Aussi longtemps que les intonations sont produites à l'aide d'un seul piston elles sont satisfaisantes au point de vue de la justesse, mais dès qu'elles sont dues à l'emploi de plusieurs pistons, des écarts se présentent. Il faut donc, dans un doigté quelconque, donner la préférence à celui que fournit un seul piston. Prenons pour exemple l'abaissement de tierce mineure ou $^{6}/_{5}$, il est donné par l'emploi du 3e piston ou par les 1er et 2e, employés simultanément.

L'allongement du 3e piston est de $\frac{1^m,314}{5} =$		$0^m,263$
Celui du 2e piston, demi-ton $^{18}/_{17}$ est de $\frac{1^m,314}{17} =$	$0^m,077$	
Celui du premier piston, seconde majeure $^{9}/_{8}$ est de $\frac{1^m,314}{8} =$	$0^m,164$	
Ensemble	$0^m,241$	$0^m,241$
Différence en moins....		$0^m,022$

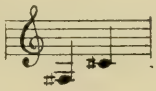
et, par conséquent, une intonation sensiblement trop aiguë par le premier et le troisième piston, fonctionnant ensemble.

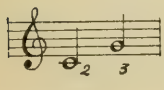
Cet exemple est celui qui s'écarte le moins de sa qualité principale : la justesse (1).

47. La quatrième sous-section est la plus richement représentée dans nos orchestres. Les instruments à timbre brillant y sont aussi nombreux que ceux à timbre doux. Citons parmi les premiers :

1° Trompette sopranino en *si* ♭, son fondamental *si* ♭, 47e degré de l'échelle des sons ; longueur théorique $0^m,737$; effet réel à la septième mineure aiguë de la note écrite ;

---

(1) Les sons  formés des harmoniques



exigent un abaissement de quinte mineure $^{17}/_{12}$ soit $\frac{1^m,314 \times 5}{12} =$ $0^m,548$

les trois pistons réunis ne nous donnent

le 1er, qu'un abaissement de		$0^m,164$	
le 2e.....	de	$0^m,077$	
le 3e.....	de	$0^m,263$	
Ensemble.....		$0^m,504$	$0^m,504$
Différence en moins.....			$0^m,044$

et, par suite, cette réunion ne peut produire que des intonations absolument trop aiguës.

2° Trompette soprano en *mi* ♭, son fondamental *mi* ♭, 40e degré de l'échelle; longueur théorique 1m,105 ; effet réel à la tierce mineure aiguë de la note écrite ;

3° Trompette soprano en *ré*, son fondamental *ré*, 39e degré de l'échelle ; longueur théorique 1m,171 ; effet réel à la seconde majeure aiguë de la note écrite ;

4° Trompette soprano en *ut*, son fondamental *ut*, 37e degré de l'échelle ; longueur théorique 1m,314 ; effet réel à l'unisson de la note écrite ;

5° Trompette soprano en *si* ♭, son fondamental *si* ♭, 35e degré de l'échelle ; longue ur théorique 1m,475 ; effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite ;

6° Trompette en *fa*, son fondamental *fa*, 30e degré de l'échelle ; longueur théorique 1m,969 ; effet réel à la quarte aiguë de la note écrite ;

7° Trompette en *mi* ♭, son fondamental *mi* ♭, 28e degré de l'échelle ; longueur théorique 2m,211; effet réel à la tierce mineure aiguë de la note écrite ;

8° Trompette en *ré*, son fondamental *ré*, 27e degré de l'échelle ; longueur théorique 2m,342 : effet réel de la seconde majeure aiguë de la note écrite ;

9° Trompette en *ut*, son fondamental *ut*, 25e degré de l'échelle ; longueur théorique 2m,629 ; effet réel à l'unisson de la note écrite ;

10° Trompette basse en *mi* ♭, son fondamental *mi* ♭, 16e degré de l'échelle ; longueur théorique 4m,442 ; effet réel à la sixte majeure grave de la note écrite.

Tous ces instruments sont transpositeurs et ont le doigté fictif à l'exception des numéros 4 et 9, non transpositeurs avec le doigté réel.

Les numéros 1, 2, 3, 4, 5, ont pour notation de leur échelle harmonique celle du clairon d'ordonnance, § 35. Tous les autres ont pour notation celle de la trompette d'ordonnance, § 36. Ces trompettes 1, 2, 3, 4, 5, ont été construites pour obtenir l'imitation du registre *clarino*, § 38, difficile sur les trompettes 8 ou 9.

La trompette en *fa* n° 6 est généralement employée dans nos orchestres d'harmonie et de fanfare. Elle est alors munie de tons de rechange qui l'abaissent en *mi*, *mi* ♭, *ré*, *ré* ♭, et même *ut*.

La trompette basse en *mi* ♭, n° 10 exige quelques explications supplémentaires. Wagner en avait indiqué l'emploi dans sa merveilleuse *Tétralogie*. Il s'etait trompé. Il la remplaça bientôt par la trompette d'ordonnance en *mi* ♭, n° 2 (§ 36), munie de pistons et construite avec une colonne d'air plus large qui permettait l'émission des harmoniques 2 dans les sept positions données par les pistons, sans trop dénaturer le timbre brillant de l'instrument. La notation de la trompette basse d'or-

donnance n° 3 était conservée (1), mais l'effet réel restait à la sixte majeure grave de la note écrite, comme Wagner l'avait indiqué.

La quatrième sous-section comprend encore parmi les instruments à timbre brillant la famille des trombones, telle qu'elle est décrite, § 44 ; le mécanisme des pistons remplace simplement celui des coulisses pour produire les mêmes effets.

Passons à l'examen des instruments à timbre doux. Nous avons en prémier lieu, les *cors*, décrits au § 41 et auxquels on a appliqué des pistons. Le mécanisme de ceux-ci et leur emploi, ont été suffisamment expliqués, pensons-nous, au commencement du § 46, pour ne pas devoir y revenir.

Viennent ensuite les cors à clefs et les ophicléides du § 42, transformés par l'application des pistons, en la grande famille des *bugles* dont nous ne citerons que les types principaux :

48. 1° Petit bugle sopranino en *mi* ♭, son fondamental *mi* ♭, 40e degré de l'échelle des sons ; longueur théorique $1^m,105$; effet réel à la tierce mineure aiguë de la note écrite ;

2° Bugle soprano en *si* ♭, son fondamental *si* ♭, 35e degré de l'échelle ; longueur théorique $1^m,475$; effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite ;

---

(1) A l'octave grave de celle de la trompette d'ordonnance n° 2, de longueur théorique, $2^m,211$.

3° Bugle alto en *mi* ♭, son fondamental *mi* ♭, 28e degré de l'échelle; longueur théorique 2m,211; effet réel à la sixte majeure grave de la note écrite ;

4° Bugle ténor en *si* ♭, son fondamental *si* ♭, 23e degré de l'échelle; longueur théorique 2m,950; effet réel à la neuvième majeure grave de la note écrite ;

5° Tuba ou basse en *ut*, son fondamental *ut*, 25e degré de l'échelle; longueur théorique 2m,629; effet réel à l'unisson de la note écrite ;

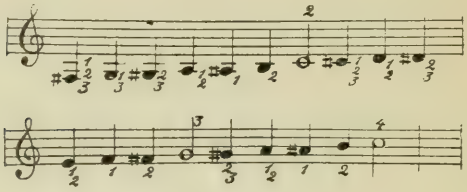
6° Tuba ou basse en *si* ♭, son fondamental *si* ♭, 23e degré de l'échelle ; longueur théorique 2m,950; effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite ;

7° Bombardon en *mi* ♭, son fondamental *mi* ♭, 16e degré de l'échelle; longueur théorique 4m,422; effet réel à la sixte majeure grave de la note écrite ;

8° Bombardon contrebasse en *si* ♭, son fondamental *si* ♭, 11e degré de l'échelle ; longueur théorique 5m,900 ; effet réel à la neuvième majeure grave de la note écrite.

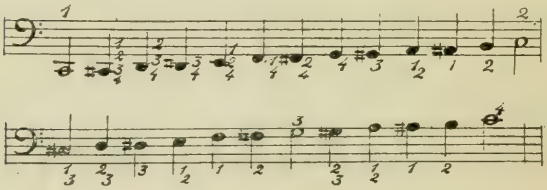
Tous ces instruments sont transpositeurs à l'exception de la basse ou tuba en *ut* n° 5. Les

quatre premiers instruments s'écrivent en clef de sol :



avec la suite jusqu'à l'harmonique 8.

Tous les autres s'écrivent en clef de fa :



avec la suite jusqu'à l'harmonique 8.

Les numéros 5 et 6 se construisent le plus souvent à quatre pistons ; on donne alors au 3e piston un tube additionnel de deux tons, abaissement de tierce majeure $^5/_4$ et au quatrième piston un tube additionnel de deux tons et demi, abaissement de quarte $^4/_3$. Il va de soi que les six degrés qui suivent la fondamentale *ut* sont absolument trop aigus pour les raisons déjà données au § 46.

Les instruments 6, 7, 8, dans la pratique de l'orchestre, sont souvent rendus non transpositeurs à l'aide du doigté transpositeur, § 17.

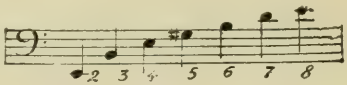
49. Il ne faut pas que nous oubliions le cornet appelé généralement *cornet à pistons*. C'est un instrument à timbre bâtard, descendant des *cornets de postillons*. Il représente dans nos orchestres d'harmonie et de fanfares, alternativement les deux timbres, doux ou brillant, d'après la façon de le jouer. On le construit généralement en *si* ♭, 35e degré de l'échelle des sons ; longueur théorique 1m,475 ; effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite, comme le bugle soprano en *si* ♭, n° 2.

50. Avant de terminer ce rapide examen des pistons *descendants* munis de *tubes additionnels*, il est utile de dire un mot des pistons *ascendants*, munis de *tubes ascensionnels*.

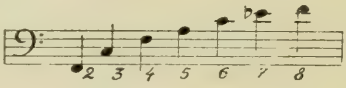
Imaginés en 1852, par notre très habile compatriote Adolphe Sax, ces pistons au lieu d'allonger successivement la colonne d'air d'un demi-ton, d'un ton, d'un ton et demi, de deux tons, de deux tons et demi, la raccourcissait successivement des mêmes quantités. Appelés par l'inventeur *pistons indépendants*, ils n'étaient jamais employés simultanément et, par conséquent, il en fallait six pour produire les sept positions des instruments à trois pistons, descendants ordinaires.

Prenons pour exemple le trombone ténor à pistons indépendants, non transpositeurs, dont le son fondamental *mi*, 17e degré de l'échelle des sons, a une longueur théorique de 4m,174, son échelle commençant au 2e harmonique. Nous avons ainsi

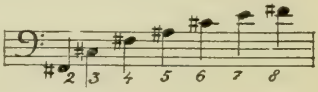
la 7e position, la plus longue, et sans l'emploi d'aucun piston, les harmoniques :



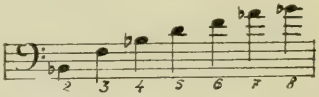
l'emploi du 6e piston raccourcissant la colonne d'air d'un demi-ton $^{17}/_{18}$, nous donne la sixième position,



le 5e piston diminuant la longueur d'un ton $^{8}/_{9}$, nous avons la cinquième position



et ainsi de suite, piston par piston, jusqu'au premier qui, raccourcissant la colonne d'air d'une quinte mineure $^{12}/_{17}$, nous donne la première position avec les harmoniques :



Cette première position correspond exactement à la première du trombone ténor à coulisses n° 3, § 44, d'une longueur théorique de 2m,950.

Il est facile en se servant du tableau de la gamme descendante, § 32, page 55, d'évaluer le rac-

courcissement qu'apporte à la colonne d'air chacun des pistons pour passer d'une position à l'autre.

Terminons par un court examen de nos deux dernières sections :

51. *Cinquième section E. — Tuyaux à anche métallique battante.*

L'anche battante se compose d'une sorte de rigole, de gouttière sur les bords de laquelle on a fixé une languette, généralement de laiton. Cette anche est adaptée à l'une des extrémités du tuyau, en bois ou en métal, à l'aide d'un coin de bois. La languette, par le mouvement que lui imprime la pression d'un soufflet, ferme et ouvre alternativement la gouttière d'où naissent les pulsations régulières qui mettent en vibration la colonne d'air du tuyau.

L'action de l'anche est simplement mécanique, son mouvement engendre le son, la vibration de l'air, mais elle ne le donne pas.

Il est nécessaire qu'il y ait un rapport entre les dimensions du tuyau et la vitesse vibratoire de l'anche, ce rapport s'établit expérimentalement. La vitesse vibratoire de l'anche est due à ses dimensions, longueur et épaisseur. Un fil de fer appelé *rasette,* appuyé sur la partie vibrante de l'anche, et que l'on fait glisser, permet de raccourcir ou d'allonger la languette vibrante.

Les dimensions de l'anche, celle du tuyau avec ses formes diverses, cylindriques, rectangulaires

ou tronconiques, déterminent les trois qualités du son : la hauteur, l'intensité et le timbre. Ce sont ces formes diverses qui donnent naissance aux différents jeux des grandes orgues. Les colonnes d'air vibrant sous l'action d'une anche métallique ne s'écartent pas des règles générales, précédemment données. Cylindriques ou rectangulaires, elles résonnent en tuyaux fermés ; tronconiques, dans les proportions précédemment indiquées, § 20, elles résonnent en tuyaux ouverts.

52. *Sixième section F. — Tuyaux à anche métallique libre.*

L'anche libre se compose d'une languette métallique vibrant librement entre les bords d'une ouverture d'un cadre, également en métal (1).

Comme l'anche battante, elle communique le mouvement vibratoire qui lui est imprimé, à la capacité d'air limitée à laquelle on l'a associée et ce sont les vibrations de ce volume d'air que l'on perçoit, non celles de la languette.

L'anche libre, peu employée dans la facture des grandes orgues, trouve son principal emploi dans celle des harmoniums. Elle y est le plus souvent associée à ce que l'on appelle les *cases sonores* dont les formes, les dimensions recherchées expérimentalement, déterminent le timbre du jeu.

---

(1) L'anche libre connue en Chine de temps immémorial, ne fut introduite en Europe que vers 1810, par Gab. Jos. Grenié.

Des expériences récentes dues à l'un de nos facteurs bruxellois des plus habiles, M. Georges Cloetens, ont prouvé qu'une série d'anches battantes ou libres peuvent communiquer leur mouvement vibratoire à un seul et même tuyau, de forme convenablement disposée et, par conséquent, donner naissance à un jeu composé d'un unique tuyau. Celui-ci agit alors comme simple renforçateur, à l'instar des cases sonores de l'anche libre.

Nous pensons avoir démontré par cette succinte étude, que la facture des instruments de musique à vent, repose sur un ensemble de lois physiques, fondamentales, dont la connaissance doit tout au moins intéresser le facteur aimant son art et recherchant les améliorations qui peuvent s'y produire.

Cette connaissance permet de remplacer les longs tâtonnements de la routine par un simple calcul : le progrès est certain, indéniable.

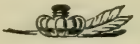
Puissions-nous être parvenu à propager cette conviction.

Tous droits réservés
de traduction et reproduction
pour tous pays

TABLE DES MATIÈRES

PARAGR.	1. — Le son et ses qualités	PAGE	5
»	2. — Vibrations simples et doubles	»	6
»	3. — Mouvements vibratoires	»	6
»	4. — Ondes sonores	»	7
»	5. — Ventres et nœuds de vibration	»	8
»	6. — Vitesse du son - Longueur des ondes et des tuyaux	»	9
»	7. — Tuyaux ouverts, tuyaux fermés	»	10
»	8. — Loi des tuyaux ouverts	»	10
»	9. — Loi des tuyaux fermés	»	11
»	10. — Première branche - Tuyaux à bouche, leur division en 7 sections	»	13
»	11. — Première Section A. Tuyaux à bouche, cylindriques rectangulaires ou prismatiques à longueur fixe, ouverts. Tuyaux octaviants et quintoyants	»	14
»	12. — Deuxième Section B. - Tuyaux à bouche, cylindriques, rectangulaires ou prismatiques, à longueur fixe, fermés	»	16
»	13. — Troisième section C. - Tuyaux à bouche, coniques à longueur fixe, fermés	»	16
»	14. — Résonance exceptionnelle des tuyaux de cette section	»	17
»	15. — Quatrième section D. - Tuyaux à bouche, cylindriques tronconiques ou tronc-pyramidaux, à longueur fixe, ouverts	»	20
»	16. — Cinquième section E. - Tuyaux à bouche, cylindriques tronconiques ou tronc-pyramidaux, à longueurs variables, ouverts	»	21
»	17. — Instruments transpositeurs, non transpositeurs, doigtés divers	»	21
»	18. — Flageolets	»	22
»	19. — Flûtes traversières	»	23
»	20. — Sixième section F. - Tuyaux à bouche, tronconiques à longueur fixe, fermés. Leurs proportions diamètrales	»	25
»	21. — Excitation vibratoire des colonnes d'air par le frappement de la paume de la main	»	27
»	22. — Septième Section G. - Tuyaux à bouche, de forme ovoïde	»	29
»	23. — Longueurs théoriques et pratiques	»	30
»	24. — Rectification des longueurs théoriques des tuyaux à bouche	»	31
»	25. — Deuxième branche - Tuyaux à anche	»	32
»	26. — Mode de vibrations des anches. Division des tuyaux en six sections	»	34

PARAGR. 27. — Première section A. Tuyaux cylindriques anche simple, battante, en roseau - Clarinettes . . . . PAGE 35
» 28. — Deuxième section B. - Tuyaux tronconiques anche simple, battante en roseau - Saxophones . . . . » 38
» 29. — Troisiéme section C. - Tuyaux tronconiques anche double, en roseau - Hautbois et bassons . . . . » 41
» 30. — Sarrusophones. . . . . » 43
» 31. — Quatrième section D. - Tuyaux tronconiques à embouchure. - Rapport vibratoire des harmoniques. - Battements, sons résultants. . . . . » 45
» 32. — Gamme des physiciens et gamme tempérée. - Calcul des corps de rechange . . . . . » 49
» 33. — Division de la section D en quatre sous sections. . » 58
» 34. — Courbes géométriques et hyperboliques . . . . . » 59
» 35. — Première sous section. Instruments à embouchure à longueur fixe. - Le clairon d'ordonnance . . . . » 63
» 36. — La trompette d'ordonnance . . . . . » 63
» 37. — La trompette d'ordonnance basse . . . . . » 64
» 38. — La trompette simple d'orchestre. . . . . » 64
» 39. — La trompette simple en *sol* à corps de rechange. . » 66
» 40. — Le cor de chasse . . . . . » 66
» 41. — Le cor simple d'orchestre à corps de rechange. - Le cor à main ou à sons bouchés. - Calcul des corps de rechange . . . . . » 67
» 42. — Deuxième sous section. - Instruments à embouchure à longueurs variables par l'emploi d'ouvertures latérales. - Cors à clefs et ophicleides . . . . . » 69
» 43. — Echelle des ophicleides . . . . . » 73
» 44. — Troisième sous section. - Instruments à embouchure de longueurs variables par l'emploi de coulisses. - Trombones. . . . . » 74
» 45. — Tastature du trombone ténor à coulisse . . . . . » 76
» 46. — Quatrième sous section. - Instruments à embouchure de longueurs variables à l'aide de pistons ou cylindres . . . . . » 78
» 47. — Trompettes . . . . . » 81
» 48. — Bugles . . . . . » 84
» 49. — Cornets . . . . . » 87
» 50. — Pistons indépendants-ascendants . . . . . » 87
» 51. — Cinquième section E. - Tuyaux à anche métallique battante . . . . . » 89
» 52. — Sixième section F. - Tuyaux à anche métallique libre. . . . . » 90



IMPRIMERIE MODERNE.
BEAULIEU-S.-MER.

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

ML
930
M34

Mahillon, Victor Charles
Notes théoriques et pratiques sur la résonance des colonnes d'air dans les tuyaux de la factur instrumental

Music